

POWERED BY **Dialog**

---

**IMAGE FORMING OPTICAL SYSTEM AND OBSERVATION OPTICAL SYSTEM****Publication Number:** 2000-131614 (JP 2000131614 A) , May 12, 2000**Inventors:**

- TAKEYAMA TETSUEI
- KENNO KOKICHI

**Applicants**

- OLYMPUS OPTICAL CO LTD

**Application Number:** 10-304199 (JP 98304199) , October 26, 1998**International Class:**

- G02B-017/08
- G02B-027/02
- G03B-013/02

**Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an observation optical system and an image forming optical system having a wide observation viewing angle and a short focal distance and for forming an intermediate image once by mutually compensating eccentric aberration by two eccentric prisms.

**SOLUTION:** The system is provided with a 1st prism 10 and a 2nd prism 20 which is positioned on the image side of the prism 10, and the 1st prism 10 is provided with 1st to 4th surfaces 11 to 14, the 1st surface 11 functions as an incident surface and also as a reflection surface, the 2nd surface 12 functions as a reflection surface, the 3rd surface 13 functions as a reflection surface and the 4th surface 14 functions as an outgoing surface, and at least one of the 1st and 2nd surfaces 11 and 12 is constituted of a rotation-asymmetrical surface for applying a power on a luminous flux and also compensating the aberration caused by the eccentricity. And, the 2nd prism 20 is provided with a reflection surface 22, an incident surface 21 and an outgoing surface 23, and also the reflection surface is constituted of a rotationasymmetrical surface for applying a power on the luminous flux and also compensating the aberration caused by the eccentricity, and an intermediate image field 4 is formed between the 1st surface 11 of the 1st prism 10 and the outgoing surface 23 of the 2nd prism 20. COPYRIGHT: (C) 2000,JPO

JAPIO

© 2004 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 6545885

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-131614  
(P2000-131614A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000. 5. 12)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 B 17/08		G 0 2 B 17/08	A 2 H 0 1 8
	27/02	27/02	Z 2 H 0 8 7
G 0 3 B 13/02		G 0 3 B 13/02	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願平10-304199

(22) 出願日 平成10年10月26日 (1998. 10. 26)

(71) 出願人 000000376  
オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号  
(72) 発明者 武山哲英  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン  
パス光学工業株式会社内  
(72) 発明者 研野孝吉  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン  
パス光学工業株式会社内  
(74) 代理人 100097777  
弁理士 荏澤 弘 (外7名)

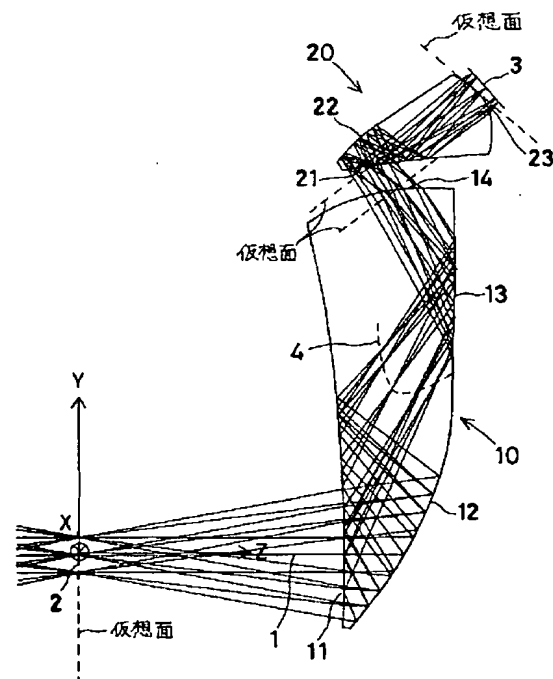
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結像光学系及び観察光学系

(57) 【要約】

【課題】 2つの偏心プリズムにより偏心収差を相互に補正することにより、観察画角が広く焦点距離の短い中間像1回結像タイプの観察光学系、結像光学系。

【解決手段】 第1プリズム10とその像側の第2プリズム20とを有し、第1プリズムが第1面11～第4面14を有し、第1面は入射面兼反射面、第2面12は反射面、第3面13は反射面、第4面は射出面であり、第1面と第2面の少なくとも一方の面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、第2プリズムは、反射面22と入射面21と射出面23を有すると共に、その反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、第1プリズムの第1面と第2プリズムの射出面との間に中間像面4を形成するように構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が屈折率( $n$ )が1.3よりも大きい( $n > 1.3$ )媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも物体側に配置され、

前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させると共に第1-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、第1-3面は前記第1-1面で反射された光束をプリズム内で反射し、第1-4面は前記第1-3面で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、

前記第1プリズムの第1-1面と前記第2プリズムの射出面との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

【請求項2】 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする請求項1記載の結像光学系。

【請求項3】 観察像を観察するために射出瞳を形成する全体として正の屈折力を有する観察光学系において、前記観察光学系が屈折率( $n$ )が1.3よりも大きい( $n > 1.3$ )媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも前記射出瞳側に配置され、

前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-4面が観察像からの光束を前記第2プリズムを介してプリズム内に入射させ、前記第1-3面が前記第1-4面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-1面が前記第1-3面で反射された光束をプリズム内で反射すると共に第1-2面で反射された光束をプリズム外へ射出し、前記第1-2面が前

記第1-1面で反射された光束を光束をプリズム内で反射するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、前記観察像からの光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、

前記第2プリズムの入射面と前記第1プリズムの射出面(第1-1面)との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とする観察光学系。

【請求項4】 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする請求項3記載の観察光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、結像光学系及び観察光学系に関し、その中でも特に、ビデオカメラやデジタルスチルカメラ、フィルムスキャナー、内視鏡等、小型の撮像素子を用いた光学装置、並びに、頭部装着型画像表示装置等の小型の画像表示素子を用いた光学装置に用いられる反射面にパワーを有する偏心光学系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、個人が大画面の画像を楽しむことを目的として、頭部又は顔面装着式画像表示装置が開発されている。

【0003】このような中、特開平7-333551号において、画像表示素子の表示画像を観察者眼球に導く接眼光学系として、3つの光学面で囲まれた屈折率が1より大きい媒質からなる偏心プリズム光学系で構成し、液晶表示素子からの光束を第3面からその偏心プリズム光学系内に入射させ、次に、その内部で第1面で全反射させ、次いで、凹面鏡の第2面で内部反射させ、今度は第1面を経て偏心プリズム光学系外に射出させ、画像表示素子の表示像を中間像を形成することなく観察者眼球に導くようにしたものが提案されている。

【0004】この場合は、偏心プリズム光学系を構成する光学面は3面であり、偏心プリズム光学系内部の反射回数は2回ある。この他に、2面あるいは4面以上からなり、光学系内部で1回以上反射する種々の形態の偏心プリズム光学系が本出願人等によって提案されている。また、このような偏心プリズム光学系をカメラの対物光学系等の結像光学系として用いることも本出願人によ

て提案されている。

【0005】また、特開平10-153748号において、リレーレンズ系と偏心プリズム光学系とを組み合わせ、リレーレンズ系により一旦中間像を形成してから画像表示素子の表示画像を観察者眼球に導く接眼光学系を提案している。この偏心プリズム光学系は3つの光学面からなり、内部で3回反射するものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、画像表示装置において、画像表示素子が小型になると、接眼光学系の焦点距離を短くしないと観察画角を広く取ることができない。一方、射出瞳位置は焦点距離を短くすると光学系に近づいてしまうため、アイポイントを取りつつ焦点距離の短い接眼光学系を構成することは不可能であった。

【0007】特開平10-153748号においては、中間像を形成するリレー光学系に回転対称な光学系を使用している。しかし、特開平10-153748号のように、その中間像を遠方へ投影する光学系に偏心プリズム光学系を用いた接眼光学系では、偏心プリズムにより偏心収差が発生する。特に、画像表示素子の表示密度が上がった場合には、非常に高解像な光学性能が接眼光学系に要求されるが、偏心により発生する収差の中でも、特に主光線に対して1次結像面の傾きや非回転対称な像面湾曲、非回転対称な非点収差の発生を少なくすることは非常に難しく、特開平10-153748号のように回転対称なリレー光学系を傾けただけでは補正することは不可能である。この偏心収差は自由曲面を使うことによりある程度補正することは可能であるが、偏心収差を完全に補正することは不可能である。

【0008】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、2つの偏心プリズムにより偏心収差をお互いに補正することにより、観察画角が広く焦点距離の短い中間像1回結像タイプの観察光学系及び結像光学系を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明はこのような要求に対応するためになされたものであり、観察光学系（接眼光学系）あるいは結像光学系として第1プリズムと第2プリズムの2つの偏心プリズム光学系を用いることにより、偏心収差を略完全に補正しあうことが可能となるものである。

【0010】すなわち、上記目的を達成する本発明の結像光学系は、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、前記結像光学系が屈折率（ $n$ ）が1.3よりも大きい（ $n > 1.3$ ）媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも物体側に配置され、前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第

1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させると共に第1-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、第1-3面は前記第1-1面で反射された光束をプリズム内で反射し、第1-4面は前記第1-3面で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、前記第1プリズムの第1-1面と前記第2プリズムの射出面との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とするものである。

【0011】本発明の観察光学系は、観察像を観察するために射出瞳を形成する全体として正の屈折力を有する観察光学系において、前記観察光学系が屈折率（ $n$ ）が1.3よりも大きい（ $n > 1.3$ ）媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも前記射出瞳側に配置され、前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-4面が観察像からの光束を前記第2プリズムを介してプリズム内に入射させ、前記第1-3面が前記第1-4面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-1面が前記第1-3面で反射された光束をプリズム内で反射すると共に第1-2面で反射された光束をプリズム外へ射出し、前記第1-2面が前記第1-1面で反射された光束を光束をプリズム内で反射するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、前記観察像からの光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、前記第2プリズムの入射面と前記第1プリズムの射出面（第1-1面）との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とするものである。

【0012】以下、本発明において上記の構成をとる理

由と作用について説明する。まず、本発明の結像光学系と観察光学系の関係を説明する。観察光学系はその入射面近傍に位置する画像表示素子等の表示像を遠方に投影して観察者眼球で拡大観察可能にするものであり、結像光学系は遠方に位置する物体の像を結像光学系の射出面近傍に位置する像面に結像させて、その像を接眼光学系で拡大観察するか、撮像素子等で画像信号に変換するか記録するものである。光学系としては両者は共通するもので、光路を反対にすることにより何れにも使用可能である。すなわち、結像光学系の像面に画像表示素子等を配置し、その物体光入射側に観察者の眼球を配置することにより観察光学系として用いることができる。以下の本発明の説明においては、特に断らない限り、本発明の結像光学系を観察光学系（接眼光学系）として説明するが、上記のように、本発明の観察光学系は光路を逆にすることにより結像光学系として用いることができる。

【0013】本発明は、1個の偏心プリズムからなるリレー光学系（第2プリズム）と、1個の偏心プリズムからなる接眼光学系（第1プリズム）を組み合わせて、焦点距離で10mm前後で、観察画角30°を取ることができる光学系を構成することに成功したものである。その特徴は、2つの偏心プリズムにより偏心収差をお互いに補正することにより、焦点距離が短く観察画角が広く、かつ、アイポイントを十分にとった中間像結像タイプの接眼光学系である。

【0014】この場合、さらに好ましくは、第2プリズムから構成されるリレー光学系は画像表示素子の1次投影像を湾曲させて投影し、第1プリズムにより構成されるアフォーカル光学系部で前記湾曲した1次像を平面の虚像として拡大する構成にすることが好ましい。

【0015】さらに好ましくは、その1次像を主光線に対して第2プリズムで傾けて投影することが好ましい。これは、第1プリズムの観察者眼球と対向して配置され大きく偏心した反射作用のみを有する面が主光線に対して傾いて配置されているために発生する1次像面の主光線に対する傾きの補正を、第2プリズムで像面の傾きを予め発生させておいて行うことにより、第1プリズムに対する偏心収差の補正の負担を軽減することが可能となるからである。

【0016】より具体的には、本発明の観察光学系は、観察像を観察するために射出瞳を形成する全体として正の屈折力を有する観察光学系において、前記観察光学系が屈折率（ $n$ ）が1.3よりも大きい（ $n > 1.3$ ）媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも前記射出瞳側に配置され、前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-4面が観察像からの光束を前記第2プリズムを介してプリズム内に入射さ

せ、前記第1-3面が前記第1-4面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-1面が前記第1-3面で反射された光束をプリズム内で反射すると共に第1-2面で反射された光束をプリズム外へ射出し、前記第1-2面が前記第1-1面で反射された光束を光束をプリズム内で反射するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、前記観察像からの光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、前記第2プリズムの入射面と前記第1プリズムの射出面（第1-1面）との間に中間像面を形成するように構成されているものである。

【0017】また、本発明の結像光学系は、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、前記結像光学系が屈折率（ $n$ ）が1.3よりも大きい（ $n > 1.3$ ）媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも物体側に配置され、第1プリズム、第2プリズムは上記観察光学系と同様であり、第1プリズムの第1-1面と第2プリズムの射出面との間に中間像面を形成するように構成されているものである。

【0018】レンズのような屈折光学素子は、その境界面に曲率を付けることにより始めてパワーを持たせることができる。そのため、レンズの境界面で光線が屈折する際に、屈折光学素子の色分散特性による色収差の発生が避けられない。その結果、色収差を補正する目的で別の屈折光学素子が付加されるのが一般的である。

【0019】一方、ミラーやプリズム等のような反射光学素子は、その反射面にパワーを持たせても原理的に色収差の発生はなく、色収差を補正する目的だけのために別の光学素子を付加する必要はない。そのため、反射光学素子を用いた光学系は、屈折光学素子を用いた光学系に比べて、色収差補正の観点から光学素子の構成枚数の削減が可能である。

【0020】同時に、反射光学素子を用いた反射光学系は、光路を折り畳むことになるために、屈折光学系に比べて光学系自身を小さくすることが可能である。

【0021】また、反射面は屈折面に比して偏心誤差感度が高いため、組み立て調整に高い精度を要求される。しかし、反射光学素子の中でも、プリズムはそれぞれの面の相対的な位置関係が固定されているので、プリズム単体として偏心を制御すればよく、必要以上の組み立て精度、調整工数が不要である。

【0022】さらに、プリズムは、屈折面である入射面

と射出面、それと反射面を有しており、反射面しかもたないミラーに比べて、収差補正の自由度が大きい。特に、反射面に所望のパワーの大部分を分担させ、屈折面である入射面と射出面のパワーを小さくすることで、ミラーに比べて収差補正の自由度を大きく保ったまま、レンズ等のような屈折光学素子に比べて、色収差の発生を非常に小さくすることが可能である。また、プリズム内部は空気よりも屈折率の高い透明体で満たされているために、空気に比べ光路長を長くとることができ、空気中に配置されるレンズやミラー等よりは、光学系の薄型化、小型化が可能である。

【0023】また、観察光学系、結像光学系は、中心性能はもちろんのこと周辺まで良好な結像性能を要求される。一般の共軸光学系の場合、軸外光線の光線高の符号は絞りの前後で反転するため、光学素子の絞りに対する対称性が崩れることにより軸外収差は悪化する。そのため、絞りを挟んで屈折面を配置することで絞りに対する対称性を十分満足させ、軸外収差の補正を行っているのが一般的である。

【0024】本発明では、2つのプリズムを配置し、2つのプリズムにより偏心収差をお互いに補正することにより、中心ばかりでなく軸外収差も良好に補正することを可能にしている。1つのプリズムのみの配置だと、前記のように、偏心収差を完全に補正することは不可能である。

【0025】本発明は、以上の理由から、第1プリズムと第2プリズムを有し、第1プリズムは第2プリズムよりも射出瞳側に配置され、かつ、第2プリズムの入射面と第1プリズムの射出面（第1-1面）との間に中間像面を形成するように構成されているものである（観察光学系の場合）。

【0026】以上説明したように、本発明の基本構成をとることで、屈折光学系あるいは回転対称なリレー光学系と偏心プリズムを用いた光学系に比べて光学素子の構成枚数が少なく、中心から周辺まで性能の良好な、小型の観察光学系及び結像光学系を得ることが可能である。

【0027】ところで、本発明の第1プリズムは、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-4面が観察像からの光束を前記第2プリズムを介してプリズム内に入射させ、前記第1-3面が前記第1-4面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-1面が前記第1-3面で反射された光束をプリズム内で反射すると共に第1-2面で反射された光束をプリズム外へ射出し、前記第1-2面が前記第1-1面で反射された光束を光束をプリズム内で反射するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非

対称な面形状を有しているものである。

【0028】第1プリズムとして、このように第1-1面として射出面と反射面を兼用する面で構成することにより、プリズムの大きさの割に大きい観察画角を取ることが可能となる。

【0029】そして、観察光学系の場合に、第1プリズムは、観察者の眼球位置つまり接眼光学系の射出瞳位置を光学系の外に配置するために、プリズムの中でも射出面に最も近い反射面に正のパワーを配置できる上記のタイプのプリズム光学系を使用することが好ましい。

【0030】ここで、観察光学系においては逆光線追跡で、結像光学系においては順光線追跡で物点中心を通り、絞り中心を通過して像面中心に到達する光線を軸上主光線としたとき、少なくとも1つの反射面が軸上主光線に対して偏心していないと、軸上主光線の入射光線と反射光線が同一の光路をとることとなり、軸上主光線が光学系中で遮断されてしまう。その結果、中心部が遮光された光束のみで像を形成することになり、中心が暗くなったり、中心では全く像を結ばなくなったりしてしまう。

【0031】また、パワーを付けた反射面を軸上主光線に対し偏心させることも当然可能である。また、パワーを付けた反射面を軸上主光線に対して偏心させた場合、本発明で用いられる各プリズムを構成する面の中、少なくとも1つの面は回転非対称な面であることが望ましい。その中でも、特に、各プリズムの少なくとも1つの反射面を回転非対称な面にすることが収差補正上は好ましい。

【0032】その理由を以下に詳述する。まず、用いる座標系、回転非対称な面について説明する。軸上主光線が、光学系の第1面に交差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸とし、そのZ軸と直交し、かつ、撮像光学系を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記Y軸と直交する軸をX軸とする。光線の追跡方向は、物体から像面に向かう順光線追跡で説明する。

【0033】一般に、球面レンズでのみ構成された球面レンズ系では、球面により発生する球面収差と、コマ収差、像面湾曲等の収差をいくつかの面でお互いに補正しあい、全体として収差を少なくする構成になっている。

【0034】一方、少ない面数で収差を良好に補正するためには、回転対称非球面等が用いられる。これは、球面で発生する各種収差自体を少なくするためである。しかし、偏心した光学系においては、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。この偏心により発生する回転非対称な収差は、歪曲収差、像面湾曲、さらに、軸上でも発生する非点収差、コマ収差がある。

【0035】まず、回転非対称な像面湾曲について説明する。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡に入射

した光線は、凹面鏡に当たって反射結像されるが、光線が凹面鏡に当たって以降、像面までの後側焦点距離は、像界側が空気の場合、光線が当たった部分の曲率半径の半分になる。すると、図26に示すように、軸上主光線に対して傾いた像面を形成する。このように、回転非対称な像面湾曲を補正するには回転対称な光学系では不可能である。

【0036】この傾いた像面湾曲をその発生源である凹面鏡M自身で補正するには、凹面鏡Mを回転非対称な面で構成し、この例ではY軸正の方向に対して曲率を強く（屈折力を強く）し、Y軸負の方向に対して曲率を弱く（屈折力を弱く）すれば、補正することができる。また、上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を、凹面鏡Mとは別に光学系中に配置することにより、少ない構成枚数でフラットの像面を得ることが可能となる。また、回転非対称な面は、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面とすることが、自由度が増え収差補正上は好ましい。

【0037】次に、回転非対称な非点収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図27に示すような非点収差が発生する。この非点収差を補正するためには、上記説明と同様に、回転非対称面のX軸方向の曲率とY軸方向

の曲率を適切に変えることによって可能となる。

【0038】さらに、回転非対称なコマ収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図28に示すようなコマ収差が発生する。このコマ収差を補正するためには、回転非対称面のX軸の原点から離れるに従って面の傾きを変えると共に、Y軸の正負によって面の傾きを適切に変えることによって可能となる。

【0039】また、本発明の結像光学系では、前述の反射作用を有する少なくとも1つの面が軸上主光線に対し偏心し、回転非対称な面形状でパワーを有する構成も可能である。このような構成をとれば、その反射面にパワーを持たせることで発生する偏心収差をその面自体で補正することが可能となり、プリズムの屈折面のパワーを緩めることで、色収差の発生自体を小さくすることができ

【0040】また、本発明で用いる上記の回転非対称面は、対称面を1面のみ有する面対称自由曲面であることが好ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面とは、以下の式(a)で定義されるものである。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0041】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+k) c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^{\infty} C_j X^j Y^j \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0042】球面項中、  
c：頂点の曲率

k：コーニック定数（円錐定数）

$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$   
である。

【0043】自由曲面項は、

$$\begin{aligned} & \sum_{j=2}^{\infty} C_j X^j Y^j \\ &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 \\ &+ C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ &+ C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ &+ C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\ &\dots \end{aligned}$$

ただし、 $C_j$ （jは2以上の整数）は係数である。

【0044】上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面共に対称面を持つことはないが、本発明ではXの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例え

ば、上記定義式(a)においては、 $C_2$ 、 $C_5$ 、 $C_7$ 、 $C_9$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{16}$ 、 $C_{18}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_{29}$ 、 $C_{31}$ 、 $C_{33}$ 、 $C_{35}$ ・・・の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0045】また、Yの奇数次項を全て0にすること

よって、 $X-Z$ 面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式においては、 $C_3$ 、 $C_5$ 、 $C_8$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{17}$ 、 $C_{19}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_{30}$ 、 $C_{32}$ 、 $C_{34}$ 、 $C_{36}$ ・・・の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0046】また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、 $Y-Z$ 面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向は $Y$ 軸方向に、 $X-Z$ 面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向は $X$ 軸方向にすることで、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性をも向上させることが可能となる。

【0047】また、上記定義式(a)は、前述のように1つの例として示したものであり、本発明は、対称面を1面のみ有する回転非対称面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0048】さて、第1プリズムを前記のように第1-1面が反射面と射出面を共有するタイプとすると（観察光学系の場合）、入射光線をその反射面では大きな屈曲角で第1-2面の反射面へと反射し、第1-2面で少ない屈曲角で屈曲させるために、プリズムの射出光線方向の厚さを薄くすることが可能である。

【0049】また、入射面の第1-4面と反射面の第1-1面の間に反射面の第1-3面を配置したこのタイプの場合、第1-3面の反射面として独立した光学作用面を用いているため、その反射面の配置の自由度が高くなり、プリズムの射出瞳とは反対側への出っ張りを小さくでき、観察光学系の場合に射出光軸に沿う方向の厚さをより薄くできると共に第2プリズムからの入射方向を自由に設定できる。さらに、光学作用面が4面であるため、収差補正の自由度が高く、良好に収差補正が可能になる。

【0050】このような構成のプリズムを第1プリズムに用いる場合、さらに好ましくは、第1-2面の反射面を正のパワー（局所的には負のパワーが存在していてもよい）にすることが好ましい。

【0051】また、第1プリズムの第1-1面がプリズム内での反射作用を全反射作用により達成することによって、射出作用の透過作用と反射作用とを兼用するように構成されていることが望ましい。

【0052】次に、第1プリズムの面形状、特に対称性についての望ましい形状について説明する。まず、第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することが望ましい。

【0053】その場合に、第1-1面と第1-2面の少なくとも一方の回転非対称な面形状を、唯一の対称面を

1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することができる。

【0054】また、第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することが望ましい。

【0055】その場合に、第1-1面の面对称自由曲面の唯一の対称面と、第1-2面の面对称自由曲面の唯一の対称面とを、同一面内に形成されるように第1プリズムを構成することができる。

【0056】また、第1プリズムの第1-3面を、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0057】この場合に、第1-3面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することができる。

【0058】また、第1-3面の面对称自由曲面の唯一の対称面を、第1プリズム内部の反射によって形成される軸上主光線の折り返し光路を結ぶ面と一致するように構成することができる。

【0059】また、第1プリズムの第1-4面を、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0060】この場合に、第1-4面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することができる。

【0061】また、第1-4面の面对称自由曲面の唯一の対称面を、第1プリズム内部の反射によって形成される軸上主光線の折り返し光路を結ぶ面と一致するように構成することができる。

【0062】また、第2プリズム内の配置された反射面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することができる。

【0063】この場合に、第1プリズムと第2プリズムとが、少なくとも1面ずつ唯一の対称面が同一平面上に配置されるように構成することができる。

【0064】ところで、本発明の光学系の第2プリズムとしては、前記のように、曲面形状を有し媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、観察像からの光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、その反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成されてなるものを用いるが、光束にパワーを与える曲面形状の反射面を2面以上有するように構成することができる。

【0065】そのような第2プリズムの1つの形態としては、観察光学系の場合（結像光学系の場合は、入射面

と射出面が反対になる。)、射出面と反射面とを兼用した第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、入射面である第2-3面との少なくとも3つの光学作用面から構成されているものとすることができる。これは後記の実施例1~2が対応するものであり、射出面と反射面とを共有するこのプリズムタイプは、入射光線を第1反射面(第2-1面)では大きな屈曲角で第2反射面(第2-2面)へと反射し、第2反射面で少ない屈曲角で屈曲させるために、プリズムの射出光線方向の厚さを薄くすることが可能なものである。

【0066】この場合に、第2-2面と第2-3面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0067】また、第2-1面と第2-2面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0068】そして、第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成することができる。

【0069】第2プリズムのもう1つの形態としては、観察光学系の場合(結像光学系の場合は、入射面と射出面が反対になる。)、射出面である第2-1面と、入射面と反射面とを兼用した第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面との少なくとも3つの光学作用面から構成されているものとすることができる。これは後記の実施例3~4が対応するものであり、第1透過面と第2反射面を共有するこのプリズムタイプは、第1反射面で少なく光線を屈曲させ、さらに第2反射面は大きな屈曲角で光線を第2透過面へと反射するために、プリズムの入射光線方向の厚さを薄くすることが可能なものである。

【0070】そして、屈曲角の少ない第1反射面に正のパワーを持たせられるために、第2プリズムの主点位置を結像光学系の場合に像側に配置することができ、バックフォーカスを大きく取ることが可能となり、フィルタ一等を結像面直前に配置する場合に好ましい。

【0071】この場合に、第2-2面と第2-3面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0072】また、第2-1面と第2-2面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0073】そして、第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、各面の唯一の対称面が同

一面上に形成されるように構成することができる。

【0074】第2プリズムのもう1つの形態としては、観察光学系の場合(結像光学系の場合は、入射面と射出面が反対になる。)、射出面である第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面と、入射面である第2-4面との少なくとも4つの光学作用面から構成されていると共に、プリズム内でZ字型の光路を形成するように構成されているものとすることができる。これは後記の実施例5~6が対応するものであり、このような形状のプリズムは、収差補正の自由度が高くなり、収差の発生が少ない。さらに、2つの反射面の相対的偏心が少ないので、この2つの反射面で発生する収差が2つの反射面相互で補正し合い、収差発生が少ない。さらに好ましくは、2つの反射面が異なる符号のパワーを持つことにより、収差の相互の補正効果を大きくすることが可能となり、高い解像力を得ることが可能となる。

【0075】さらに好ましくは、第1反射面と第2反射面の光軸が反射する点における相対的偏心が少ない方が、偏心収差の発生を少なくすることが可能となり、回転非対称な収差の発生が少なくなる。

【0076】この場合に、第2-2面と第2-3面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0077】また、第2-1面と第2-4面の少なくとも1面を、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0078】その場合に、第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成することができる。

【0079】第2プリズムのさらにもう1つの形態としては、観察光学系の場合(結像光学系の場合は、入射面と射出面が反対になる。)、射出面である第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面と、入射面である第2-4面との少なくとも4つの光学作用面から構成され、第2-1面と第2-2面とが媒質を挟んで対向配置されていると共に、第2-3面と第2-4面とが媒質を挟んで対向配置され、第2-1面と第2-2面とを結ぶ光路と第2-3面と第2-4面とを結ぶ光路とが交差するように構成されているものとすることができる。これは後記の実施例7~8が対応するものであり、このような形状のプリズムは、収差補正の自由度が高くなり、収差の発生が少ない。さらに、2つの反射面の配置の対称性が高いので、この2つの反射面で発生する収差が2つの反射面相互で補正し合い、収差発生が少ない。また、光路がプリズム内で交差する構成のために、単に光路を

折り返す構造のプリズムに比較して光路長を長く取ることが可能で、光路長の長さの割にプリズムを小型化することができる。さらに好ましくは、2つの反射面が異なる符号のパワーを持つことにより、収差の相互の補正効果を大きくすることが可能となり、高い解像力を得ることが可能となる。

【0080】この場合に、第2-2面と第2-3面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0081】また、第2-1面と第2-4面の少なくとも1面を、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することができる。

【0082】その場合に、第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成することができる。

【0083】また、本発明において、第2プリズムとしては、以上の4つの形態の他、後記するように種々のタイプの偏心プリズムを用いることができる。

【0084】なお、本発明の第1プリズム、第2プリズム中の透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面において、反射作用は全反射によるものとするのが望ましい。全反射条件を満たさなければ、反射作用と透過作用を併せ持つことができず、プリズム自体の小型化が困難になってしまう。

【0085】また、全反射面以外の反射面は、アルミニウム又は銀等の金属薄膜を表面に形成した反射面、又は、誘電体多層膜の形成された反射面で構成することが好ましい。金属薄膜で反射作用を有する場合は、手軽に高反射率を得ることが可能となる。また、誘電体反射膜の場合は、波長選択性や吸収の少ない反射膜を形成する場合に有利となる。これにより、プリズムの製作精度が緩和された低コストな小型の結像光学系を得ることが可能である。

【0086】また、中間像面が、第1プリズムの第1-1面の反射作用面と第2プリズムの第2-2面との間に形成されるように、第1プリズムと第2プリズムとを構成することができる。

【0087】その場合に、中間像面が、第1プリズムの第1-4面と第2プリズムの第2-2面との間に形成されるように、第1プリズムと第2プリズムとを構成することができる。

【0088】そして、観察光学系の場合は、観察光学系  

$$100 \leq EP/ Px \leq 1000$$
なる条件を満足することが重要である。

【0095】この条件は観察画角をある程度以上確保しつつ、アイポイントを長くとるために必要な条件であり、上限の1000を越えると、アイポイントが長くな

の射出瞳面と観察像面とが略平面となると共に、射出瞳面と結像面との間に形成される中間像面が非平面な湾曲した形状となるように、また、結像光学系の場合は、結像光学系の入射瞳面と結像面とが略平面となると共に、入射瞳面と結像面との間に形成される中間像面が非平面な湾曲した形状となるように、第1プリズムと第2プリズムの偏心収差を補正する光学作用面の面形状が構成されていることが望ましい。

【0089】また、本発明の観察光学系は、第1プリズムの第1-1面をカバーするためのカバー部材が第1-1面と射出瞳との間に設けられていてもよい。

【0090】その場合に、カバー部材は、光束にパワーを与えない平行平板形状、光束に収斂作用を与える正レンズ形状、あるいは、光束に発散作用を与える負レンズ形状にて構成される。

【0091】また、本発明の結像光学系の入射瞳は、第1プリズムよりも物体側に形成されるように、第1プリズムと第2プリズムとが構成されていることが望ましい。そして、その入射瞳上に絞りが配置される。

【0092】さて、ここで偏心光学系及び光学面のパワーを定義する。図29に示すように、偏心光学系Sの偏心方向をY軸方向に取った場合に、偏心光学系Sの軸上主光線と平行なY-Z面内の微小な高さdの光線を物体側から入射し、偏心光学系Sから射出したその光線と軸上主光線のY-Z面に投影したときのなす角を $\delta y$ とし、 $\delta y/d$ をY方向の偏心光学系Sのパワー $P_y$ 、偏心光学系の軸上主光線と平行でY-Z面と直交するX方向の微小な高さdの光線を物体側から入射し、偏心光学系Sから射出したその光線と軸上主光線のY-Z面に直交する面であって軸上主光線を含む面に投影したときのなす角を $\delta x$ とし、 $\delta x/d$ をX方向の偏心光学系Sのパワー $P_x$ とする。同様に偏心光学系Sを構成する偏心光学面nのY方向のパワー $P_{ysn}$ 、X方向のパワー $P_{xsn}$ が定義される。

【0093】さらに、これらのパワーの逆数がそれぞれ偏心光学系のY方向の焦点距離 $F_y$ 、偏心光学系のX方向の焦点距離 $F_x$ 、偏心光学面nのY方向の焦点距離 $F_{ysn}$ 、X方向の焦点距離 $F_{xsn}$ と定義される。

【0094】本発明の観察光学系において、さらに好ましくは、接眼光学系の射出瞳から第1プリズムの射出面までの距離（アイポイント）をEPとし（結像光学系の場合は、入射瞳から第1プリズムの入射面までの距離）、接眼光学系全体のパワー（焦点距離の逆数）を $P_x$ とすると、

$$\dots (1)$$

りすぎ、像観察装置として大きくなりすぎたり、パワーが弱くなりすぎ、観察画角を広くとることが不可能になる。また、下限の100を越えると、今度はアイポイントを長く取れなくなり、眼鏡を着用した観察が困難にな

ったり、瞳孔が光学系に当たって観察し難くなってしまう。

$$100 \leq EP/Px \leq 600$$

を満たすことが望ましい。この条件の下限と上限の意味は上記と同様である。

$$140 \leq EP/Px \leq 500$$

を満たすことが望ましい。この条件の下限と上限の意味は上記と同様である。

$$200 \leq EP/Px \leq 400$$

次に、第1プリズムのパワーについて説明する。第1プリズムのX方向のパワーを $P_{x1}$ 、Y方向のパワーを $P_{y1}$ とすると、

$$-1 \leq P_{x1}/Px \leq 2,$$

$$-1 \leq P_{y1}/Py \leq 2$$

なる条件を満足することが重要である。この条件は接眼光学系全体のパワーに対する第1プリズムのパワーを限定しているものである。これらの条件の下限の-1を越えると、第1プリズムのパワーが光学系全体に対して小さくなりすぎ、大きな観察画角を取るために、1次結像面の投影像を大きくしなければならなくなり、第1プリ

$$0.05 \leq P_{x1}/Px \leq 1,$$

$$0.05 \leq P_{y1}/Py \leq 1$$

なる条件を満足することが重要である。

【0100】次に、第1プリズムの観察者眼球に当たる瞳位置に対向して配置された反射作用のみを有する第1

$$0.2 \leq P_{xs3}/Px \leq 3,$$

$$0.2 \leq P_{ys3}/Py \leq 3$$

なる条件を満足することが重要である。上記条件式の下限の0.2を越えると、全系のパワーに対し第1プリズムのパワーを強くすることが不可能になり、その分の負担を第2プリズムで負うことになり好ましくない。また、この面以外の面で第1プリズムのパワーを負担させると、偏心収差の発生が大きくなったり、透過面で負担

$$0.4 \leq P_{xs3}/Px \leq 2,$$

$$0.4 \leq P_{ys3}/Py \leq 2$$

なる条件を満足することが重要である。

$$0.5 \leq P_{xs3}/Px \leq 1.5,$$

$$0.5 \leq P_{ys3}/Py \leq 1.5$$

なる条件を満足することが重要である。

【0103】次に、第1プリズムの観察者眼球に当たる瞳位置直前に配置された透過作用と反射作用を有する第

$$-5 \leq P_{xs4}/Px \leq 1,$$

$$-5 \leq P_{ys4}/Py \leq 1$$

なる条件を満足することが重要である。第1プリズムの第1-1面は透過作用と反射作用を併せ持つ面なので、余りに強いパワーを持つことは偏心収差の発生が大きくなり好ましくない。これらの条件式の下限値の-5を越えると、負に強い屈折力を持ちすぎ、この面で発生する

$$-3 \leq P_{xs4}/Px \leq 0.5,$$

$$-3 \leq P_{ys4}/Py \leq 0.5$$

なる条件を満足することが重要である。

【0096】さらに好ましくは、

$$\dots (1-1)$$

【0097】さらに好ましくは、

$$\dots (1-2)$$

【0098】さらに好ましくは、

$$\dots (1-2)$$

$y1$ とすると、

$$\dots (2)$$

ズムが大きくなり、光学系全体を小型にすることができなくなってしまう。逆に、上限の2を越えると、第1プリズムのパワー負担が大きくなりすぎ、第1プリズムで発生する偏心収差が第2プリズムで補正できなくなる。

【0099】さらに好ましくは、

$$\dots (2-1)$$

-2面の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーを $P_{xs3}$ 、Y方向のパワーを $P_{ys3}$ とすると、

$$\dots (3)$$

させると、色収差の発生が大きくなってしまいます。上限の3を越えると、逆に第1プリズムでのパワー負担が大きくなりすぎ、第1プリズムで偏心収差が大きくなり発生してしまう。

【0101】さらに好ましくは、

$$\dots (3-1)$$

【0102】さらに好ましくは、

$$\dots (3-2)$$

1-1面の反射作用時の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーを $P_{xs4}$ 、Y方向のパワーを $P_{ys4}$ とすると、

$$\dots (4)$$

偏心収差が補正できなくなる。さらに、上限値の1を越えると、正に強い屈折力を持ちすぎ、同様にこの面で発生する偏心収差の補正ができなくなる。

【0104】さらに好ましくは、

$$\dots (4-1)$$

【0105】さらに好ましくは、

$$\begin{aligned} -2.5 \leq P_{xs4}/P_x \leq 0, \\ -2.5 \leq P_{ys4}/P_y \leq 0 \end{aligned}$$

なる条件を満足することが重要である。

【0106】次に、第1プリズムの第1反射面(第1-  

$$\begin{aligned} -3 \leq P_{xs5}/P_x \leq 3, \\ -3 \leq P_{ys5}/P_y \leq 3 \end{aligned}$$

なる条件を満足することが重要である。第1プリズムの第1反射面のパワーを規定する条件である。この面は第2プリズムに対する第1プリズムの偏心量を決定する面である。そのため、比較的光線の反射角が大きくなるために、余り強いパワーを持つことは好ましくない。これ

$$\begin{aligned} -2 \leq P_{xs5}/P_x \leq 2, \\ -2 \leq P_{ys5}/P_y \leq 2 \end{aligned}$$

なる条件を満足することが重要である。

$$\begin{aligned} -0.5 \leq P_{xs5}/P_x \leq 1, \\ -0.5 \leq P_{ys5}/P_y \leq 1 \end{aligned}$$

なる条件を満足することが重要である。

【0109】なお、以上の本発明の観察光学系、結像光学系において、その焦点距離は12mmよりも小さいように形成することが望ましい。

【0110】また、本発明の結像光学系において、結像光学系のフォーカシングは、全体繰り出しやプリズムを1つだけ移動することにより可能なのは言うまでもないが、最も像側の面から射出した軸上主光線の方に結像面を移動させることによりフォーカシングすることが可能である。これにより、結像光学系が偏心することで物体からの軸上主光線の入射方向と最も像側の面から射出する軸上主光線の方角とが一致していなくても、フォーカシングによる軸上主光線の入射側のずれを防ぐことができる。また、平行平板を複数の楔状のプリズムに分割し、それをZ軸と垂直方向に移動させることでフォーカシングすることも可能である。この場合も、結像光学系の偏心にはよらずフォーカシングが可能である。

【0111】また、本発明の観察光学系においては、観察光学系の視度調節は、同様に全体繰り出しやプリズムを1つだけ移動することにより可能なのは言うまでもないが、最も画像表示素子側の面に入射する軸上主光線の方に画像表示面を移動させることにより可能である。

【0112】また、本発明の観察光学系、結像光学系において、少なくともプリズムの1つをプラスチック等のような有機材料を用いて構成すれば、コストダウンが図れる。また、アモルファスポリオレフィン等のような低吸湿材料を用いれば、湿度変化に対しても結像性能の変化が少なく望ましい。

【0113】また、本発明において、複数のプリズムは光学作用を有さない面にそれぞれの相対的位置決め部を設けていることが望ましい。特に、本発明のような反射面にパワーを持たせたプリズムを複数配置する場合、その相対的な位置精度のずれが性能劣化の原因となる。そこで、本発明では、プリズムの光学作用を有さない面に

$$\dots (4-2)$$

3面)の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーを $P_{xs5}$ 、Y方向のパワーを $P_{ys5}$ とすると、

$$\dots (5)$$

らの条件式の下限値の-3を越えると、負に強い屈折力を持ちすぎ、この面で発生する偏心収差が補正できない。さらに、上限値の3を越えると、正に強い屈折力を持ちすぎ、この面で発生する偏心収差が補正できない。

【0107】

$$\dots (5-1)$$

【0108】さらに好ましくは、

$$\dots (5-2)$$

相対的位置決め部を設けることで、位置精度の確保を行い、所望の性能を確保することが可能となる。特に、その位置決め部を用い、連結部材により複数のプリズムを一体化すれば、組み立て調整が不要となり、さらに、コストダウンが図られる。

【0114】また、本発明の結像光学系の入射面より物体側にミラー等の反射光学部材を用いて、本発明の結像光学系の偏心方向とは異なった向きに光路を折り畳むことも可能である。これにより、さらに結像光学系のレイアウトの自由度が増え、結像光学装置全体の小型化が図られる。

【0115】また、本発明において、観察光学系、結像光学系をプリズムのみから構成することも可能である。これにより部品点数が減り、コストダウンが図られる。さらに、複数のプリズムを一体化し、1つのプリズムとすることも当然可能である。これにより、さらなるコストダウンが可能である。

【0116】また、本発明において、第1プリズムと第2プリズム以外に、その物体側、2つのプリズムの間、あるいは、2つのプリズムの像側の何れかあるいは複数の位置に他のレンズ(正レンズ、負レンズ)を構成要素として含んでいてもよい。

【0117】また、本発明の観察光学系、結像光学系は、明るい単焦点レンズであることが可能である。また、2つのプリズムの間隔、2つのプリズムの物体側、あるいは、像側に単数あるいは複数の屈折光学系を組み合わせてズームレンズ(変倍光学系)とすることもできる。

【0118】また、本発明において、結像光学系の屈折面、反射面を球面あるいは回転対称非球面で構成することも当然可能である。

【0119】なお、本発明の以上の結像光学系を撮像装置の撮像部に配置する場合、あるいは、その撮影装置がカメラ機構を備えている場合に、前群中に配置されたプリ

ズム部材を光学作用を持つ光学素子の中で最も物体側に配置し、そのプリズム部材の入射面を光軸に対して偏心して配置し、そのプリズム部材よりも物体側に光軸に対して垂直に配置したカバー部材を配置する構成にすることができ、また、前群中に配置されたプリズム部材が物体側に光軸に対して偏心配置された入射面を備えるように構成し、その入射面と空気間隔を挟んで光軸と同軸上に配置されたパワーを有するカバーレンズをその入射面よりも物体側に配置する構成にすることができ、

【0120】このように、プリズム部材が最も物体側に配置され、偏心入射面が撮影装置前面に備えられると、被写体からは斜めに傾いた入射面が見えるため、被写体からずれた位置を中心に撮影しているかのような違和感を与えてしまうことになる。そこで、光軸に垂直なカバー部材又はカバーレンズを配置して、一般の撮影装置と同様、撮影する被写体に違和感を感じない撮影ができる。

【0121】以上のような本発明の何れかの結像光学系をファインダー対物光学系として配置し、さらに、そのファインダー対物光学系によって形成された物体像を正立正像させる像正立光学系と、接眼光学系とからファインダー光学系を構成することができる。

【0122】また、そのファインダー光学系と、それと併設された撮影用対物光学系とを備えてカメラ装置を構成することができる。

【0123】また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子とを備えて撮像光学系を構成することができる。

【0124】また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、その撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、その記録媒体又は撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子とを備えて電子カメラ装置を構成することができる。

【0125】また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源及びその照明光源からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材を有する照明系とを備えて内視鏡装置を構成することができる。

【0126】また、観察像を形成する電子画像表示素子と、その画像表示素子の表示面上の像を観察する本発明の何れかの観察光学系とを配置して電子ファインダー光学系を構成することができる。

【0127】また、結像光学系と、その結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、その撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、その記録媒体又は撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子と、その画像表示素子の表示面上の

像を観察する本発明の何れかの観察光学系とを備えて電子カメラ装置を構成することができる。

【0128】また、結像光学系と、その結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源と、その照明光源からの照明光をその長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材とを有する照明系とを備え、その観察系の像伝達部材によって構成された像面を観察するために配置された本発明の何れかの観察光学系とを備えて内視鏡装置を構成することができる。

【0129】また、観察像を画面上に形成する画像表示素子と、その観察像を観察する接眼光学系として配置した本発明の何れかの観察光学系とを備えた本体部と、その本体部を観察者顔面に保持するために観察者側頭部に装着されるように頭部装着型画像表示装置を構成することができる。

【0130】その場合に、画像表示素子と接眼光学系とがそれぞれ左右1組ずつ並設され両眼視用に構成することができる。

【0131】

【発明の実施の形態】以下、本発明の観察光学系、結像光学系の実施例1～8について説明する。これらの実施例は結像光学系として説明するが、結像光学系の像面に画像表示素子を配置し、その絞り位置に観察者の眼球の瞳（射出瞳）を配置することにより観察光学系として用いることができる。すなわち、実施例1～8の結像光学系の光路を逆にすることにより観察光学系として用いることができる。なお、各実施例の構成パラメータは後に示す。各実施例において、図1に示すように、軸上主光線1を物体中心を出て、絞り2の中心を通り、像面3中心に到る光線で定義する。そして、軸上主光線1と絞り2の面、第1プリズム10の射出面（第4面）14、第2プリズム20の入射面（第1面）21、射出面（第3面）23との交点を通り、絞り2の面及び入射面についてはその面に入射する軸上主光線1に垂直に、射出面についてはその面から射出する軸上主光線1に垂直に、それぞれ仮想面をとる。各仮想面の交点を、その交点を通る光学面から次の仮想面（最後の仮想面について像面）までの間の偏心光学面の原点として、入射面（絞り面を含む）の交点について定められた仮想面の場合は、入射する軸上主光線1、射出面の交点について定められた仮想面の場合は、射出する軸上主光線1に沿う方向をZ軸方向とし、軸上主光線1と絞り面との交点を通る第1仮想面に関しては、軸上主光線1の進行方向に沿った方向をZ軸正方向とし、その他の仮想面については、第1仮想面からその仮想面に到る光路中の反射回数が偶数回の場合には軸上主光線1の進行方向に沿った方向をZ軸正方向とし、反射回数が奇数回の場合には軸上主光線1の進行方向と反対方向をZ軸正方向とし、このZ軸と像面中心を含む平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平

面に直交し、紙面の手前から裏面側に向かう方向をX軸正方向とし、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。図1には、各仮想面と絞り2の面の交点について定められた第1仮想面に関する座標系とを図示してある。図2以下については、これら仮想面と座標系の図示は省く。

【0132】実施例1～8では、このY-Z平面内で各面の偏心を行っており、また、各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面としている。

【0133】偏心面については、対応する座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量(X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z)と、その面の中心軸(自由曲面については、前記(a)式のZ軸)のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角(それぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ (°))とが与えられている。なお、その場合、 $\alpha$ と $\beta$ の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 $\gamma$ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。

【0134】また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面(仮想面を含む。)とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には、面間隔が与えられて

$$\begin{aligned} x &= R \times \cos(A) \\ y &= R \times \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ &\quad + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\ &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\ &\quad + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\ &\quad + D_{16} R^4 \sin(4A) \\ &+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\ &\quad + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\ &\quad + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\ &\quad + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\ &+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\ &\quad + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\ &\quad + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\ &\quad + D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\ &\quad + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots \dots \dots \\ &\dots \dots (b) \end{aligned}$$

なお、X軸方向に対称な光学系として設計するには、 $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$ 、 $D_{10}$ 、 $D_{11}$ 、 $D_{12}$ 、 $D_{13}$ 、 $D_{14}$ 、 $D_{20}$ 、 $D_{21}$ 、 $D_{22}$ …を利用する。

【0139】その他の面の例として、次の定義式(d)

$$\begin{aligned} Z &= C_2 \\ &+ C_3 y + C_4 |x| \\ &+ C_5 y^2 + C_6 y |x| + C_7 x^2 \\ &+ C_8 y^3 + C_9 y^2 |x| + C_{10} y x^2 + C_{11} |x^3| \\ &+ C_{12} y^4 + C_{13} y^3 |x| + C_{14} y^2 x^2 + C_{15} y |x^3| + C_{16} x^4 \end{aligned}$$

おり、その他、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。なお、面間隔の符号については、第1仮想面からその基準の光学面(仮想面を含む。)に到る光路中の反射回数が偶数回の場合には正の値、奇数回の場合には負の値として示されているが、軸上主光線1の進行方向に沿っての距離は、何れも正の値である。

【0135】また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記(a)式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0136】なお、データの記載されていない自由曲面に関する項は0である。屈折率については、d線(波長587.56nm)に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0137】また、自由曲面の他の定義式として、以下の(b)式で与えられるZernike多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZの軸の高さの極座標で定義され、AはX-Y面内のZ軸からの距離、RはZ軸回りの方位角で、Z軸から測った回転角で表せられる。

【0138】

があげられる。

$$Z = \sum \sum C_{nm} X Y$$

例として、 $k=7$ (7次項)を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

$$\begin{aligned}
& +C_{17}y^5 + C_{18}y^4 | x | + C_{19}y^3 x^2 + C_{20}y^2 | x^3 | \\
& \qquad \qquad \qquad + C_{21}yx^4 + C_{22} | x^5 | \\
& +C_{23}y^6 + C_{24}y^5 | x | + C_{25}y^4 x^2 + C_{26}y^3 | x^3 | \\
& \qquad \qquad \qquad + C_{27}y^2 x^4 + C_{28}y | x^5 | + C_{29}x^6 \\
& +C_{30}y^7 + C_{31}y^6 | x | + C_{32}y^5 x^2 + C_{33}y^4 | x^3 | \\
& \qquad \qquad \qquad + C_{34}y^3 x^4 + C_{35}y^2 | x^5 | + C_{36}yx^6 + C_{37} | x^7 | \\
& \qquad \qquad \qquad \dots (c)
\end{aligned}$$

なお、本発明の実施例では、前記(a)式を用いた自由曲面で面形状が表現されているが、上記(b)式、(c)式を用いても同様の作用効果を得られるのは言うまでもない。

【0140】実施例1～8は、観察光学系とした場合に、観察画角は、水平半画角15°、垂直半画角11.56°、画像表示素子の大きさは5.89×4.42mmであり、瞳径4mm、焦点距離11mmに相当する。

【0141】実施例1、2の光軸を含むY-X断面図をそれぞれ図1、図2に示す。実施例1、2は何れも、物体側から光の通る順に、絞り2、第1プリズム10、中間像面4、第2プリズム20、像面(結像面)3からなり(中間像面4は一部あるいは全部第1プリズム10又は第2プリズム20の内部に埋設している場合もある。)、第1プリズム10は第1面11から第4面14で構成され、その第1面11は物体側からの光束を第1プリズム10内に入射させると共に第2面12で反射された光束をプリズム内で反射し、第2面12は第1面11から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面13は第1面11で反射された光束をプリズム内で反射し、第4面14は第3面13で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。また、第2プリズム20は第1面21から第3面23で構成され、その第1面21は第1プリズム10からの光束を第2プリズム20内に入射させると共に第2面22で反射された光束をプリズム内で反射し、第2面22は第1面21から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面23は第1面21で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。そして、第1プリズム10の第1面11、第2プリズム20の第1面21はそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ同一の光学作用面としている。なお、実施例1と2の違いは、第2プリズム20中の第2面22で反射する方向が相互に逆になっている点である。

【0142】また、後記する構成パラメータの第2面から第7面までは第1面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、第8面(仮想面3)の面頂位置は第7面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されており、第9面から第13面までは第8面の仮想面3を基準とした偏心量で表されており、像面は第13面の仮想面4からの軸上主光線に沿った面間隔と、軸上主光線に対して像面の法線が傾いている場合には傾き角(偏心量)とによって表されている。

【0143】実施例3、4の光軸を含むY-X断面図を

それぞれ図3、図4に示す。実施例1、2は何れも、物体側から光の通る順に、絞り2、第1プリズム10、中間像面4、第2プリズム20、像面(結像面)3からなり(中間像面4は一部あるいは全部第1プリズム10又は第2プリズム20の内部に埋設している場合もある。)、第1プリズム10は第1面11から第4面14で構成され、その第1面11は物体側からの光束を第1プリズム10内に入射させると共に第2面12で反射された光束をプリズム内で反射し、第2面12は第1面11から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面13は第1面11で反射された光束をプリズム内で反射し、第4面14は第3面13で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。また、第2プリズム20は第1面21から第3面23で構成され、その第1面21は第1プリズム10からの光束を第2プリズム20内に入射させ、第2面22は第1面21から入射した光束をプリズム内で反射すると共に第3面23で反射された光束をプリズム外へ射出し、第3面23は第2面22で反射された光束をプリズム内で反射するように構成されている。そして、第1プリズム10の第1面11、第2プリズム20の第2面22はそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ同一の光学作用面としている。なお、実施例3と4の違いは、第2プリズム20中の第2面22で反射する方向が相互に逆になっている点である。

【0144】また、後記する構成パラメータの第2面から第7面までは第1面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、第8面(仮想面3)の面頂位置は第7面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されており、第9面から第13面までは第8面の仮想面3を基準とした偏心量で表されており、像面は第13面の仮想面4からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

【0145】実施例5、6の光軸を含むY-X断面図をそれぞれ図5、図6に示す。実施例1、2は何れも、物体側から光の通る順に、絞り2、第1プリズム10、中間像面4、第2プリズム20、像面(結像面)3からなり(中間像面4は一部あるいは全部第1プリズム10又は第2プリズム20の内部に埋設している場合もある。)、第1プリズム10は第1面11から第4面14で構成され、その第1面11は物体側からの光束を第1プリズム10内に入射させると共に第2面12で反射された光束をプリズム内で反射し、第2面12は第1面11から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面13

は第1面11で反射された光束をプリズム内で反射し、第4面14は第3面13で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。また、第2プリズム20は第1面21から第4面24で構成され、その第1面21は第1プリズム10からの光束を第2プリズム20内に入射させ、第2面22は第1面21から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面23は第2面22で反射された光束をプリズム内で反射し、第4面24は第3面23で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。そして、第1プリズム10の第1面11は透過作用と反射作用を併せ持つ同一の光学作用面としている。また、第2プリズム20内ではZ字型の光路を形成している。なお、実施例5と6の違いは、第2プリズム20中の第2面22で反射する方向が相互に逆になっている点である。

【0146】また、後記する構成パラメータの第2面から第7面までは第1面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、第8面(仮想面3)の面頂位置は第7面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されており、第9面から第13面までは第8面の仮想面3を基準とした偏心量で表されており、像面は第13面の仮想面4からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

【0147】実施例7、8の光軸を含むY-X断面図をそれぞれ図7、図8に示す。実施例1、2は何れも、物体側から光の通る順に、絞り2、第1プリズム10、中間像面4、第2プリズム20、像面(結像面)3からなり(中間像面4は一部あるいは全部第1プリズム10又は第2プリズム20の内部に埋設している場合もある。)、第1プリズム10は第1面11から第4面14で構成され、その第1面11は物体側からの光束を第1プリズム10内に入射させると共に第2面12で反射された光束をプリズム内で反射し、第2面12は第1面11から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面13は第1面11で反射された光束をプリズム内で反射し、

第4面14は第3面13で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。また、第2プリズム20は第1面21から第4面24で構成され、その第1面21は第1プリズム10からの光束を第2プリズム20内に入射させ、第2面22は第1面21から入射した光束をプリズム内で反射し、第3面23は第2面22で反射された光束をプリズム内で反射し、第4面24は第3面23で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されている。そして、第1プリズム10の第1面11は透過作用と反射作用を併せ持つ同一の光学作用面としている。また、第2プリズム20の第1面21と第2面22、第3面23と第4面24はそれぞれ対向配置され、第1面21と第2面22を結ぶ光路は第3面23と第4面24を結ぶ光路と交差するようになっている。なお、実施例7と8の違いは、第2プリズム20中の第2面22で反射する方向が相互に逆になっている点である。

【0148】また、後記する構成パラメータの第2面から第7面までは第1面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、第8面(仮想面3)の面頂位置は第7面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されており、第9面から第13面までは第8面の仮想面3を基準とした偏心量で表されており、像面は第13面の仮想面4からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

【0149】本発明の観察光学系、結像光学系は、もちろん、以上の他のサイズの場合でも適用できるのは言うまでもない。また、本発明は、本発明の観察光学系、結像光学系を用いた撮像光学系、表示光学系のみならず、その光学系を組み込んだ撮像装置等も含むものである。以下に上記実施例1～8の構成パラメータを示す。これら表中の“FFS”は自由曲面、“HRP”は仮想面を示す。

【0150】

実施例1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面) (HRP1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP2)	-3.63	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP3)				
9	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6

12	FFS⑦			偏心(8)
13	$\infty$ (HRP4)			-1.00 偏心(9)
像 面	$\infty$			偏心(10)
FFS①				
C <sub>4</sub>	$-8.9974 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-2.4285 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $-1.9057 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.8268 \times 10^{-5}$			
FFS②				
C <sub>4</sub>	$-1.4323 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.0638 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $-4.1744 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-2.0593 \times 10^{-5}$			
FFS③				
C <sub>4</sub>	$5.8771 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-1.0081 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $-9.8955 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-6.4080 \times 10^{-5}$			
FFS④				
C <sub>4</sub>	$3.4826 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$2.1808 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $5.0738 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-7.1897 \times 10^{-4}$			
FFS⑤				
C <sub>4</sub>	$5.9670 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$2.0590 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $4.3707 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$6.6393 \times 10^{-5}$			
FFS⑥				
C <sub>4</sub>	$2.0748 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$1.8972 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $1.7188 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$1.0587 \times 10^{-4}$			
FFS⑦				
C <sub>4</sub>	$9.4214 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$7.5823 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $-9.6825 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$4.1100 \times 10^{-3}$			
偏心(1)				
X	0.00	Y	9.65	Z 27.81
$\alpha$	2.39	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(2)				
X	0.00	Y	0.00	Z 34.39
$\alpha$	-27.85	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(3)				
X	0.00	Y	30.53	Z 39.63
$\alpha$	-1.00	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(4)				
X	0.00	Y	41.99	Z 33.66
$\alpha$	-83.49	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(5)				
X	0.00	Y	41.99	Z 33.66
$\alpha$	-50.33	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(6)				
X	0.00	Y	2.50	Z 1.58
$\alpha$	-32.60	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(7)				
X	0.00	Y	0.67	Z -3.39
$\alpha$	4.51	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(8)				
X	0.00	Y	13.48	Z 0.70
$\alpha$	-90.69	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00
偏心(9)				
X	0.00	Y	13.48	Z 0.70

$\alpha$  -82.83  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00  
 偏心(10)  
 $X$  0.00  $Y$  0.00  $Z$  0.00  
 $\alpha$  -7.02  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【0151】

## 実施例2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面) (HRP 1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS③		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS④		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS⑤		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP 2)	-5.20	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP 3)				
9	FFS⑥		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑦		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑧		偏心(6)	1.4924	57.6
12	FFS⑨		偏心(8)		
13	$\infty$ (HRP 4)	-1.00	偏心(9)		
像 面	$\infty$				
	FFS①				
$C_4$	$-1.3184 \times 10^{-2}$	$C_6$ $-3.4389 \times 10^{-3}$	$C_8$ $-2.6869 \times 10^{-4}$		
$C_{10}$	$-8.1324 \times 10^{-6}$				
	FFS②				
$C_4$	$-1.5408 \times 10^{-2}$	$C_6$ $-1.1012 \times 10^{-2}$	$C_8$ $-1.7563 \times 10^{-5}$		
$C_{10}$	$1.2786 \times 10^{-5}$				
	FFS③				
$C_4$	$-4.5132 \times 10^{-3}$	$C_6$ $-1.7362 \times 10^{-3}$	$C_8$ $-1.9347 \times 10^{-4}$		
$C_{10}$	$-7.2880 \times 10^{-5}$				
	FFS④				
$C_4$	$3.6918 \times 10^{-2}$	$C_6$ $2.5949 \times 10^{-2}$	$C_8$ $1.0329 \times 10^{-3}$		
$C_{10}$	$1.4361 \times 10^{-4}$				
	FFS⑤				
$C_4$	$1.2944 \times 10^{-2}$	$C_6$ $2.9822 \times 10^{-3}$	$C_8$ $-6.3381 \times 10^{-4}$		
$C_{10}$	$-8.2719 \times 10^{-5}$				
	FFS⑥				
$C_4$	$2.3289 \times 10^{-2}$	$C_6$ $1.9825 \times 10^{-2}$	$C_8$ $-5.3259 \times 10^{-4}$		
$C_{10}$	$-2.9896 \times 10^{-4}$				
	FFS⑦				
$C_4$	$1.0872 \times 10^{-1}$	$C_6$ $1.0302 \times 10^{-1}$	$C_8$ $-8.2440 \times 10^{-3}$		
$C_{10}$	$-2.4730 \times 10^{-3}$				
	偏心(1)				
$X$	0.00	$Y$ 10.57	$Z$ 27.64		
$\alpha$	4.00	$\beta$ 0.00	$\gamma$ 0.00		
	偏心(2)				
$X$	0.00	$Y$ 0.00	$Z$ 35.79		
$\alpha$	-26.17	$\beta$ 0.00	$\gamma$ 0.00		

偏心(3)					
X	0.00	Y	32.06	Z	39.87
$\alpha$	-0.01	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	41.01	Z	34.78
$\alpha$	-38.23	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	41.01	Z	34.78
$\alpha$	-73.31	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	-1.89	Z	1.34
$\alpha$	35.66	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	-0.54	Z	-2.47
$\alpha$	-3.58	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	-12.83	Z	1.50
$\alpha$	87.87	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	-12.83	Z	1.50
$\alpha$	92.32	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【 0 1 5 2 】

## 実施例3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
	(HRP 1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP 2)	-1.50	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP 3)				
9	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		偏心(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑥		偏心(7)		
13	$\infty$ (HRP 4)	-1.00	偏心(9)		
像 面	$\infty$				
	FFS①				
$C_4$	$-2.0736 \times 10^{-3}$	$C_6$	$-5.0648 \times 10^{-4}$	$C_8$	$-6.8454 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$-2.8858 \times 10^{-6}$				
	FFS②				
$C_4$	$-1.1686 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-8.3935 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-7.0029 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$9.0623 \times 10^{-6}$				
	FFS③				
$C_4$	$3.4525 \times 10^{-4}$	$C_6$	$-8.3000 \times 10^{-4}$	$C_8$	$2.7574 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$2.4931 \times 10^{-5}$				
	FFS④				

$$C_4 \quad 5.5352 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 5.1603 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 1.5803 \times 10^{-3}$$

$$C_{10} \quad -1.0173 \times 10^{-5}$$

F F S ⑤

$$C_4 \quad -5.4343 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -3.8521 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 1.0636 \times 10^{-3}$$

$$C_{10} \quad -1.8853 \times 10^{-3}$$

F F S ⑥

$$C_4 \quad 1.7982 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 3.1861 \times 10^{-3} \quad C_8 \quad -1.0799 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} \quad -6.7151 \times 10^{-5}$$

F F S ⑦

$$C_4 \quad -2.4344 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -1.8474 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -7.6863 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} \quad 4.7555 \times 10^{-4}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 13.11 \quad Z \quad 27.93$$

$$\alpha \quad 0.68 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 35.83$$

$$\alpha \quad -29.45 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 35.58 \quad Z \quad 40.78$$

$$\alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 41.40 \quad Z \quad 37.45$$

$$\alpha \quad -59.18 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 41.40 \quad Z \quad 37.45$$

$$\alpha \quad -60.80 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(6)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad 1.09 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(7)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -0.05 \quad Z \quad -8.04$$

$$\alpha \quad 55.19 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(8)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 8.22 \quad Z \quad -11.05$$

$$\alpha \quad 81.66 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(9)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 4.27 \quad Z \quad -14.00$$

$$\alpha \quad 53.37 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

【 0 1 5 3 】

## 実施例4

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
	(HRP 1)				
2	F F S ①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	F F S ②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	F F S ③		偏心(1)	1.5254	56.2
5	F F S ④		偏心(3)	1.5254	56.2
6	F F S ⑤		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP 2)	-9.68	偏心(5)		

8	$\infty$ (HRP3)				
9	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		偏心(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧		偏心(7)		
13	$\infty$ (HRP4)	-1.00	偏心(9)		
像面	$\infty$				
	FFS①				
C <sub>4</sub>	$-1.5597 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-2.8516 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-2.1161 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-5.2036 \times 10^{-6}$				
	FFS②				
C <sub>4</sub>	$-1.7428 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-9.6241 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$4.8430 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$1.0591 \times 10^{-5}$				
	FFS③				
C <sub>4</sub>	$4.2417 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-1.5876 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$4.6056 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-2.9287 \times 10^{-5}$				
	FFS④				
C <sub>4</sub>	$6.4128 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$4.8017 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$4.9194 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-2.3224 \times 10^{-4}$				
	FFS⑤				
C <sub>4</sub>	$-7.6071 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-4.7478 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-3.6613 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$2.5485 \times 10^{-3}$				
	FFS⑥				
C <sub>4</sub>	$-1.7801 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$6.2233 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.7452 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$-1.9096 \times 10^{-4}$				
	FFS⑦				
C <sub>4</sub>	$-3.1713 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.5425 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.4264 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$-7.9580 \times 10^{-4}$				
	偏心(1)				
X	0.00	Y	9.03	Z	27.78
$\alpha$	2.87	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(2)				
X	0.00	Y	0.00	Z	34.18
$\alpha$	-27.33	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(3)				
X	0.00	Y	28.26	Z	38.70
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(4)				
X	0.00	Y	40.58	Z	31.70
$\alpha$	-63.36	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(5)				
X	0.00	Y	40.58	Z	31.70
$\alpha$	-58.86	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(6)				
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	-1.81	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(7)				
X	0.00	Y	0.08	Z	-7.37
$\alpha$	-56.81	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(8)				

X 0.00 Y -6.71 Z -10.25  
 $\alpha$  -82.33  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(9)

X 0.00 Y -3.73 Z -12.61  
 $\alpha$  -52.04  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【0154】

実施例5

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面) (HRP1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP2)	-1.50	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP3)				
9	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		偏心(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧		偏心(9)		
13	$\infty$ (HRP4)	-1.00	偏心(10)		
像 面	$\infty$				
	FFS①				
C <sub>4</sub>	$-1.6147 \times 10^{-4}$	C <sub>6</sub> $-2.0800 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $-8.7948 \times 10^{-5}$		
C <sub>10</sub>	$-3.0606 \times 10^{-5}$				
	FFS②				
C <sub>4</sub>	$-9.4591 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub> $-9.4564 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $-1.0439 \times 10^{-4}$		
C <sub>10</sub>	$-2.8387 \times 10^{-5}$				
	FFS③				
C <sub>4</sub>	$6.7265 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub> $-6.9309 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub> $-2.7942 \times 10^{-4}$		
C <sub>10</sub>	$-7.8600 \times 10^{-5}$				
	FFS④				
C <sub>4</sub>	$4.3276 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub> $5.7392 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $2.6212 \times 10^{-4}$		
C <sub>10</sub>	$-2.5023 \times 10^{-3}$				
	FFS⑤				
C <sub>4</sub>	$-2.6934 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub> $5.7654 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $2.5190 \times 10^{-3}$		
C <sub>10</sub>	$-1.4940 \times 10^{-3}$				
	FFS⑥				
C <sub>4</sub>	$3.8743 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub> $5.1060 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $7.8176 \times 10^{-4}$		
C <sub>10</sub>	$2.8821 \times 10^{-4}$				
	FFS⑦				
C <sub>4</sub>	$-2.3516 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub> $-1.8922 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $2.0616 \times 10^{-4}$		
C <sub>10</sub>	$2.1594 \times 10^{-4}$				
	FFS⑧				
C <sub>4</sub>	$7.7652 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub> $3.8257 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $2.5012 \times 10^{-3}$		
C <sub>10</sub>	$-3.1910 \times 10^{-3}$				
	偏心(1)				
X	0.00	Y 10.00	Z 27.85		

$\alpha$	1.86	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	34.58
$\alpha$	-28.04	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	27.38	Z	37.98
$\alpha$	-1.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	38.60	Z	31.95
$\alpha$	-71.04	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	38.60	Z	31.95
$\alpha$	-56.84	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	-16.80	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	0.73	Z	-7.37
$\alpha$	17.87	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	6.89	Z	-0.37
$\alpha$	21.26	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	6.71	Z	-9.74
$\alpha$	-8.91	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	6.71	Z	-9.74
$\alpha$	6.19	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【 0 1 5 5 】

## 実施例6

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面) (HRP 1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS③		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS④		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS⑤		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP 2)	-1.68	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP 3)				
9	FFS⑥		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑦		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑧		偏心(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑨		偏心(9)		
13	$\infty$ (HRP 4)	-1.00	偏心(10)		
像 面	$\infty$				
	FFS⑩				
$C_4$	$-3.4315 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.7822 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-4.9725 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$2.3723 \times 10^{-4}$				

## FFS②

$C_4$	$-1.8819 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.1614 \times 10^{-2}$	$C_8$	$7.7877 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$2.2309 \times 10^{-4}$				

## FFS③

$C_4$	$-1.4209 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-2.6839 \times 10^{-3}$	$C_8$	$6.2411 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$5.3398 \times 10^{-5}$				

## FFS④

$C_4$	$1.9368 \times 10^{-2}$	$C_6$	$2.8680 \times 10^{-2}$	$C_8$	$2.8259 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$-1.7242 \times 10^{-3}$				

## FFS⑤

$C_4$	$-1.6389 \times 10^{-2}$	$C_6$	$3.3711 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.6024 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$-1.1262 \times 10^{-3}$				

## FFS⑥

$C_4$	$8.7409 \times 10^{-4}$	$C_6$	$1.5860 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.4378 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$8.0791 \times 10^{-5}$				

## FFS⑦

$C_4$	$-2.6232 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-7.0317 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-3.0671 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$1.2121 \times 10^{-3}$				

## FFS⑧

$C_4$	$1.9262 \times 10^{-1}$	$C_6$	$4.9805 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-8.1791 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$1.7600 \times 10^{-2}$				

## 偏心(1)

X	0.00	Y	10.00	Z	27.35
$\alpha$	6.11	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	36.22
$\alpha$	-24.21	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(3)

X	0.00	Y	30.73	Z	39.01
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(4)

X	0.00	Y	36.16	Z	35.96
$\alpha$	-41.10	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(5)

X	0.00	Y	36.16	Z	35.96
$\alpha$	-71.77	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(6)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	32.41	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(7)

X	0.00	Y	-1.45	Z	-7.23
$\alpha$	-11.14	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(8)

X	0.00	Y	-6.28	Z	0.03
$\alpha$	-5.35	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(9)

X	0.00	Y	-10.09	Z	-8.99
$\alpha$	31.16	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(10)

X	0.00	Y	-10.09	Z	-8.99
---	------	---	--------	---	-------

【0156】

 $\alpha$  18.84  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

## 実施例7

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面) (HRP 1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP 2)	-2.43	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP 3)				
9	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		偏心(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧		偏心(9)		
13	$\infty$ (HRP 4)	-1.00	偏心(10)		
像 面	$\infty$				
	FFS①				
$C_4$	$-1.0638 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-6.9011 \times 10^{-4}$	$C_8$	$-1.4418 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$1.5504 \times 10^{-5}$				
	FFS②				
$C_4$	$-1.4149 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-8.1826 \times 10^{-3}$	$C_8$	$1.5320 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$1.8228 \times 10^{-5}$				
	FFS③				
$C_4$	$-3.6438 \times 10^{-3}$	$C_6$	$-3.0000 \times 10^{-3}$	$C_8$	$2.3360 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.4190 \times 10^{-4}$				
	FFS④				
$C_4$	$1.9435 \times 10^{-2}$	$C_6$	$5.4140 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-2.9190 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$1.3755 \times 10^{-4}$				
	FFS⑤				
$C_4$	$-3.4538 \times 10^{-2}$	$C_6$	$3.4020 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-6.1380 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$2.7253 \times 10^{-3}$				
	FFS⑥				
$C_4$	$9.7079 \times 10^{-3}$	$C_6$	$1.3042 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-5.1343 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$3.7383 \times 10^{-4}$				
	FFS⑦				
$C_4$	$-1.7271 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.5657 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-2.0576 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$2.7989 \times 10^{-4}$				
	FFS⑧				
$C_4$	$1.1330 \times 10^{-1}$	$C_6$	$4.0208 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.4570 \times 10^{-2}$
$C_{10}$	$3.3936 \times 10^{-3}$				
	偏心(1)				
X	0.00	Y	8.30	Z	27.93
$\alpha$	0.84	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(2)				
X	0.00	Y	0.00	Z	34.58
$\alpha$	-25.65	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

偏心(3)					
X	0.00	Y	23.87	Z	39.68
$\alpha$	-0.02	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	35.31	Z	31.05
$\alpha$	-48.97	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	35.31	Z	31.05
$\alpha$	-55.13	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	6.17	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	-0.32	Z	-9.04
$\alpha$	-17.96	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	-5.14	Z	-2.86
$\alpha$	-58.96	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	3.76	Z	-4.44
$\alpha$	-82.11	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	3.76	Z	-4.44
$\alpha$	-78.90	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0157】

## 実施例8

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面) (HRP1)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
5	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)		
7	$\infty$ (HRP2)	-2.55	偏心(5)		
8	$\infty$ (HRP3)				
9	FFS⑤		偏心(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		偏心(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		偏心(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧		偏心(9)		
13	$\infty$ (HRP4)	-1.00	偏心(10)		
像 面	$\infty$				
	FFS①				
$C_4$	$-6.1446 \times 10^{-3}$	$C_6$	$-6.5496 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-2.4789 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.3001 \times 10^{-4}$				
	FFS②				
$C_4$	$-1.2360 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.1879 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-4.7913 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$-2.8408 \times 10^{-5}$				
	FFS③				

$$\begin{array}{lll} C_4 & 3.8613 \times 10^{-3} & C_6 \quad -1.2607 \times 10^{-3} \quad C_8 \quad 2.9802 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 7.8685 \times 10^{-5} & \end{array}$$

FFS④

$$\begin{array}{lll} C_4 & 3.3454 \times 10^{-2} & C_6 \quad 4.4465 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -4.1923 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -8.1639 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS⑤

$$\begin{array}{lll} C_4 & -1.3750 \times 10^{-2} & C_6 \quad -1.4913 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -8.1269 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -1.6922 \times 10^{-3} & \end{array}$$

FFS⑥

$$\begin{array}{lll} C_4 & 1.4353 \times 10^{-2} & C_6 \quad 4.5162 \times 10^{-3} \quad C_8 \quad -4.3223 \times 10^{-4} \\ C_{10} & -2.2328 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS⑦

$$\begin{array}{lll} C_4 & -1.2387 \times 10^{-2} & C_6 \quad -2.0159 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 5.5463 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 3.5757 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS⑧

$$\begin{array}{lll} C_4 & 1.1143 \times 10^{-1} & C_6 \quad 1.1347 \times 10^{-1} \quad C_8 \quad -1.8307 \times 10^{-2} \\ C_{10} & -1.6991 \times 10^{-2} & \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 7.37 & Z & 27.75 \\ \alpha & 4.31 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 34.04 \\ \alpha & -24.76 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 23.60 & Z & 37.84 \\ \alpha & -1.00 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 36.11 & Z & 30.66 \\ \alpha & -69.12 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 36.11 & Z & 30.66 \\ \alpha & -55.34 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 0.00 \\ \alpha & -16.08 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(7)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 1.03 & Z & -10.88 \\ \alpha & 18.89 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(8)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 6.07 & Z & -5.51 \\ \alpha & 63.49 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(9)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -3.26 & Z & -6.52 \\ \alpha & 74.52 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(10)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -3.26 & Z & -6.52 \\ \alpha & 88.47 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

【0158】次に、上記実施例7の横収差図を図9に示す。この横収差図において、括弧内に示された数字は（水平（X方向）画角、垂直（Y方向）画角）を表し、

その画角における横収差を示す。

【0159】次に上記実施例1～8の前記条件式(1)～(5)に関する値は次の通りである。

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
(1)	275.9	282.3	289.6	249.1
(2) X	0.25	0.10	0.09	-0.06
Y	0.30	0.18	0.10	0.18
(3) X	0.86	0.95	0.74	0.95
Y	0.68	0.71	0.54	0.63
(4) X	-0.54	-0.81	-0.13	-0.85
Y	-0.16	-0.22	-0.03	-0.19
(5) X	-0.35	0.28	-0.02	-0.23
Y	0.06	0.11	0.05	0.10
	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8
(1)	304.7	278.3	299.5	302.4
(2) X	0.31	0.20	0.40	0.36
Y	0.12	0.18	0.23	0.27
(3) X	0.63	1.14	0.92	0.81
Y	0.61	0.71	0.53	0.84
(4) X	-0.01	-2.08	-0.69	-0.40
Y	-0.13	-0.11	-0.04	-0.46
(5) X	-0.45	0.86	0.24	-0.25
Y	0.04	0.16	0.19	0.09

【0160】ところで、以上の実施例の本発明の結像光学系、観察光学系を構成する第2プリズム20としては、上記の実施例1～8の内部反射回数2回のタイプのプリズムを用いたが、本発明の結像光学系、観察光学系において第2プリズム20として用いるプリズムはこれに限られるものではない。図10～図16にその例を示す。なお、何れも像面36に結像するプリズムPとして説明するが、光路を逆にして像面36側から画像表示素子からの光線が入射し、瞳31側に結像するプリズムPとしても使用することができる。

【0161】図10の場合は、プリズムPは第1面32、第2面33、第3面34からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、第3面34に入射して屈折されて、像面36に結像する。

【0162】図11の場合は、プリズムPは第1面32、第2面33、第3面34からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、第3面34で内部反射し、再び第1面32に入射して今度は全反射し、再び第2面33に入射して今度は屈折されて、像面36に結像する。

【0163】図12の場合は、プリズムPは第1面32、第2面33、第3面34、第4面35からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、第3面34に入射して全反射し、第4面35に入射して内部反射し、再び第3面34に入射して今度は屈折されて、像面36に結像する。

【0164】図13の場合は、プリズムPは第1面3

2、第2面33、第3面34、第4面35からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、第3面34に入射して内部反射し、第2面33に再度入射して内部反射し、第4面35に入射して屈折されて、像面36に結像する。

【0165】図14の場合は、プリズムPは第1面32、第2面33、第3面34、第4面35からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、第3面34に入射して内部反射し、第2面33に再度入射して内部反射し、第4面35に入射して内部反射し、第2面33に再度入射して今度は屈折されて、像面36に結像する。

【0166】図15の場合は、プリズムPは第1面32、第2面33、第3面34からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、再び第1面32に入射して今度は全反射し、第3面34で内部反射し、三たび第1面32に入射して全反射し、第3面34に再度入射して今度は屈折されて、像面36に結像する。

【0167】図16の場合は、プリズムPは第1面32、第2面33、第3面34からなり、入射瞳31を通過して入射した光は、第1面32で屈折してプリズムPに入射し、第2面33で内部反射し、再び第1面32に入射して今度は全反射し、第3面34で内部反射し、三たび第1面32に入射して全反射し、再び第3面34に入射して内部反射し、四たび第1面32に入射して今度は屈折されて、像面36に結像する。

【0168】以上のような本発明による結像光学系、観

察光学系は、物体像を形成しその像をCCDや銀塩フィルムといった撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置や、物体像を接眼レンズを通して観察する観察装置としても用いることが可能である。具体的には、銀塩カメラ、デジタルカメラ、VTRカメラ、顕微鏡、頭部装着型画像表示装置、内視鏡、プロジェクター等がある。以下に、その実施形態を例示する。

【0169】その一例として、まず、図17に頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を、図18にその断面図を示す。この構成は、本発明による観察光学系を図18に示すように接眼光学系100として用いており（この場合は、実施例1～2のような形状の観察光学系の像面3に画像表示素子101を配置している。）、この接眼光学系100と画像表示素子101からなる組みを左右一対用意し、それらを眼輻距離だけ離して支持することにより、両眼で観察できる据え付け型又は頭部装着型画像表示装置のようなポータブル型の画像表示装置102として構成されている。

【0170】すなわち、表示装置本体102には、前記のような観察光学系が接眼光学系100として用いられ、その接眼光学系100が左右一対備えられ、それらに対応して像面に液晶表示素子からなる画像表示素子101が配置されている。そして、表示装置本体102には、図17に示すように、左右に連続して図示のような側頭フレーム103が設けられ、表示装置本体102を観察者の眼前に保持できるようになっている。なお、各画像表示装置102の接眼光学系100の第1プリズム10の第1面11（図1～図8参照）を保護するために、図18に示すように、接眼光学系100の射出瞳と第1面11の間にカバー部材91が配置されている。このカバー部材91としては、平行平板、正レンズあるいは負レンズの何れを用いてもよい。

【0171】また、側頭フレーム103にはスピーカ104が付設されており、画像観察と共に立体音響を聞くことができるようになっている。このようにスピーカ104を有する表示装置本体102には、映像音声伝達コード105を介してポータブルビデオカセット等の再生装置106が接続されているので、観察者はこの再生装置106を図示のようにベルト箇所等の任意の位置に保持して、映像音響を楽しむことができるようになっている。図17の符号107は再生装置106のスイッチ、ボリューム等の調節部である。なお、表示装置本体102の内部に映像処理、音声処理回路等の電子部品を内蔵させてある。

【0172】なお、コード105は先端をジャックにして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV電波受信用チューナーに接続してTV鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪

魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしてもよい。

【0173】さらに、本発明による観察光学系は、接眼光学系を左右何れか一方の眼前に配置した片眼用の頭部装着型画像表示装置に用いてもよい。図19にその片眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着（この場合は、左眼に装着）した状態を示す。この構成では、接眼光学系100と画像表示素子101からなる組み1つからなる表示装置本体102が前フレーム108の対応する眼の前方位置に取り付けられ、その前フレーム108には左右に連続して図示のような側頭フレーム103が設けられており、表示装置本体102を観察者の片眼前に保持できるようになっている。その他の構成は図17の場合と同様であり、説明は省く。

【0174】また、図20～図22は、本発明による結像光学系を電子カメラのファインダー部の対物光学系に組み込んだ構成の概念図を示す。図20は電子カメラ40の外観を示す前方斜視図、図21は同後方斜視図、図22は電子カメラ40の構成を示す断面図である。電子カメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影用対物光学系48を通して撮影が行われる。撮影用対物光学系48によって形成された物体像が、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター51を介してCCD49の撮像面50上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段52を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段52には記録素子61が配置され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録素子61は処理手段52と別体に設けられてもよいし、フロッピーディスク等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD49に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

【0175】さらに、ファインダー用光路44上には、ファインダー用対物光学系53が配置されており、このファインダー用対物光学系53は、カバーレンズ54、フォーカシングのために光軸方向に位置調節可能な正レンズ群57、絞り2、第1プリズム10、第2プリズム20からなり、絞り2から第2プリズム20までの結像光学系として実施例7～8と同様のタイプの光学系を用いている。また、カバー部材として用いられているカバーレンズ54は、負のパワーを有するレンズ群であり、画角を拡大している。このファインダー用対物光学系53によって結像面90上に形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム55の視野枠上に形成される。なお、その視野枠は、ポロプリズム55の第1反射面5

6<sub>1</sub>と第2反射面56<sub>2</sub>との間を分離し、その間に配置されている。なお、ポリプリズム55は第1反射面56<sub>1</sub>から第4反射面56<sub>4</sub>でなる。このポリプリズム55の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球Eに導く接眼光学系59が配置されている。

【0176】このように構成されたカメラ40は、ファインダー用対物光学系53を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、対物光学系53の光路自体を折り曲げて構成できるため、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

【0177】なお、図22の構成において、撮影用対物光学系48の構成については言及しなかったが、撮影用対物光学系48としては屈折型同軸光学系の他に、本発明の2つのプリズム10、20からなる何れかのタイプの結像光学系を用いることも当然可能である。

【0178】次に、図23は、本発明の結像光学系を電子カメラ40の撮影部の対物光学系48に、本発明の観察光学系を電子カメラ40の接眼光学系59に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合は、撮影用光路42上に配置された撮影用対物光学系48は、正レンズからなるカバー部材65と実施例1〜2と同様の結像光学系からなる。そして、その第2プリズム20とCCD49の間にローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター51が配置されており、この撮影用対物光学系48により形成された物体像はCCD49の撮像面50上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段52を介し、液晶表示素子(LCD)60上に電子像として表示される。また、この処理手段52は、CCD49で撮影された物体像を電子情報として記録する記録手段61の制御も行う。LCD60に表示された画像は、接眼光学系59を介して観察者眼球Eに導かれる。この接眼光学系59は、本発明の実施例3〜4の観察光学系と同様の形態を持つ偏心プリズム光学系とその射出瞳側に配置されたカバーレンズ91とからなる。また、LCD60の背後にはそれを照明するバックライト92が配置されている。なお、この撮影用対物光学系48は他のレンズ(正レンズ、負レンズ)を2つのプリズム10、20の物体側、それらの間あるいは像側にその構成要素として含んでもよい。

【0179】このように構成されたカメラ40は、撮影用対物光学系48、接眼光学系59を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、光学系全体を同一平面上に並べて配置できるため、この配置平面と垂直方向の厚みの薄型化が実現できる。

【0180】なお、本例では、撮影用対物光学系48のカバー部材65はとして、正レンズを配置しているが、負レンズあるいは平行平板を用いてもよい。

【0181】ここで、カバー部材を設けずに、本発明の結像光学系中の最も物体側に配置された面をカバー部材と兼用することもできる。本例ではその最も物体側の面

はプリズム20の入射面となる。しかし、この入射面が光軸に対して偏心配置されているため、この面がカメラ前面に配置されてしまうと、被写体側から見た場合、カメラ40の撮影中心が自分からずれているように錯覚してしまい(一般的なカメラ同様、入射面の垂直方向を撮影していると感じるのが通常である。)、違和感を与えてしまう。そこで、本例のように、結像光学系の最も物体側の面が偏心面である場合には、カバー部材65(又は、カバーレンズ54)を設けることが、被写体側から見た場合に違和感を感じずに、既存のカメラと同じ感覚で撮影を受けることができ望ましい。

【0182】次に、図24は、本発明による結像光学系を電子内視鏡の観察系の対物光学系82に、本発明による観察光学系を電子内視鏡の観察系の接眼光学系87に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合、観察系の対物光学系82は実施例1〜2と略同様の形態の光学系を用いており、接眼光学系87は実施例1〜2と略同様の形態の光学系を用いている。この電子内視鏡は、図24(a)に示すように、電子内視鏡71と、照明光を供給する光源装置72と、その電子内視鏡71に対応する信号処理を行うビデオプロセッサ73と、このビデオプロセッサ73から出力される映像信号を表示するモニター74と、このビデオプロセッサ73と接続され映像信号等に記録するVTRデッキ75、及び、ビデオディスク76と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ77と、例えば図17に示したような頭部装着型画像表示装置(HMD)78と共に構成されており、電子内視鏡71の挿入部79の先端部80と、その接眼部81は、図24(b)に示すように構成されている。光源装置72から照明した光束は、ライトガイドファイバー束88を通して照明用対物光学系89により、観察部位を照明する。そして、この観察部位からの光が、カバー部材85を介して、観察用対物光学系82によって物体像として形成される。この物体像は、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター83を介してCCD84の撮像面上に形成される。さらに、この物体像は、CCD84によって映像信号に変換され、その映像信号は、図24(a)に示すビデオプロセッサ73により、モニター74上に直接表示されると共に、VTRデッキ75、ビデオディスク76中に記録され、また、ビデオプリンタ77から映像としてプリントアウトされる。また、HMD78の画像表示素子101(図21)に表示されHMD78の装着者に表示される。同時に、CCD84によって変換された映像信号は画像信号導伝手段93を介して接眼部81の液晶表示素子(LCD)86上に電子像として表示され、その表示像は本発明の観察光学系からなる接眼光学系87を経て観察者眼球Eに導かれる。

【0183】このように構成された内視鏡は、少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると

共に、対物光学系80が内視鏡の長軸方向に並ぶため、細径化を阻害することなく上記効果を得ることができると。

【0184】次に、本発明による結像光学系をCCDやフィルター等の撮像素子前方に配置するときの望ましい構成を図25に示す。図中、偏心プリズムPは、本発明の結像光学系中に含まれる第1プリズムである。いま、撮像素子の撮像面Cが、図のように四角形を形成するとき、偏心プリズムPに配置された面対称自由曲面の対称面Dが、この撮像面Cの四角形を形成する辺の少なくとも1つと平行になるように配置することが、美しい像形成の上で望ましい。

【0185】さらに、この撮像面Cが正方形や長方形といった4つの内角がそれぞれ略90°にて形成されている場合には、面対称自由曲面の対称面Dは、撮像面Cの互いに平行関係にある2辺に対して平行に配置され、より望ましくは、この2辺の中間に配置され、この対称面Dが撮像面Cを左右又は上下対称にする位置に一致している構成であることが好ましい。このように構成すれば、装置に組み込むときの組み込み精度が出しやすく、量産性に効果的である。

【0186】さらに、偏心プリズムPを構成する光学面である第1面、第2面、第3面等の中、複数の面又は全ての面が面対称自由曲面の場合には、複数の面又は全ての面の対称面が同一面D上に配置されるように構成することが、設計上も、収差性能上も望ましい。そして、この対称面Dと撮像面Cとの関係は、上述と同様の関係にあることが望ましい。

【0187】以上の本発明の結像光学系及び接眼光学系は、例えば次のように構成することができる。

〔1〕 物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、前記結像光学系が屈折率( $n$ )が1.3よりも大きい( $n > 1.3$ )媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも物体側に配置され、前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させると共に第1-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、第1-3面は前記第1-1面で反射された光束をプリズム内で反射し、第1-4面は前記第1-3面で反射された光束をプリズム外へ射出するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、光束をプリズム内

に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、前記第1プリズムの第1-1面と前記第2プリズムの射出面との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

【0188】〔2〕 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記1記載の結像光学系。

【0189】〔3〕 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の少なくとも一方の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記1記載の結像光学系。

【0190】〔4〕 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記2記載の結像光学系。

【0191】〔5〕 前記第1プリズムの第1-1面の面対称自由曲面の唯一の対称面と、前記第1プリズムの第1-2面の面対称自由曲面の唯一の対称面とが、同一面内に形成されるように前記第1プリズムが構成されていることを特徴とする上記4記載の結像光学系。

【0192】〔6〕 前記第1プリズムの第1-3面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記1から5の何れか1項記載の結像光学系。

【0193】〔7〕 前記第1プリズムの第1-3面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記6記載の結像光学系。

【0194】〔8〕 前記第1プリズムの第1-3面の面対称自由曲面の唯一の対称面が、前記第1プリズム内部の反射によって形成される軸上主光線の折り返し光路を結ぶ面と一致するように構成されていることを特徴とする上記7記載の結像光学系。

【0195】〔9〕 前記第1プリズムの第1-4面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記1から8の何れか1項記載の結像光学系。

【0196】〔10〕 前記第1プリズムの第1-4面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記9記載の結像光学系。

【0197】〔11〕 前記第1プリズムの第1-4面

の面对称自由曲面の唯一の対称面が、前記第1プリズム内部の反射によって形成される軸上主光線の折り返し光路を結ぶ面と一致するように構成されていることを特徴とする上記10記載の結像光学系。

【0198】〔12〕 前記第2プリズム内の配置された反射面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記1から11の何れか1項記載の結像光学系。

【0199】〔13〕 前記第1プリズムと前記第2プリズムとが、少なくとも1面ずつ唯一の対称面が同一平面上に配置されるように構成された面对称自由曲面を備えていることを特徴とする上記12記載の結像光学系。

【0200】〔14〕 前記第2プリズムが、光束にパワーを与える曲面形状の反射面を2面以上有するように構成されていることを特徴とする上記1から13の何れか1項記載の結像光学系。

【0201】〔15〕 前記第2プリズムの光学作用面が、入射面と反射面とを兼用した第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、射出面である第2-3面との少なくとも3つの光学作用面から構成されていることを特徴とする上記14記載の結像光学系。

【0202】〔16〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記15記載の結像光学系。

【0203】〔17〕 前記第2-1面と前記第2-2面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記15記載の結像光学系。

【0204】〔18〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記16又は17記載の結像光学系。

【0205】〔19〕 前記第2プリズムの光学作用面が、入射面である第2-1面と、射出面と反射面とを兼用した第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面との少なくとも3つの光学作用面から構成されていることを特徴とする上記14記載の結像光学系。

【0206】〔20〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記19記載の結像光学系。

【0207】〔21〕 前記第2-1面と前記第2-2面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成

されていることを特徴とする上記19記載の結像光学系。

【0208】〔22〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記20又は21記載の結像光学系。

【0209】〔23〕 前記第2プリズムの光学作用面が、入射面である第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面と、射出面である第2-4面との少なくとも4つの光学作用面から構成されていると共に、前記プリズム内でZ字型の光路を形成するように構成されていることを特徴とする上記14記載の結像光学系。

【0210】〔24〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記23記載の結像光学系。

【0211】〔25〕 前記第2-1面と前記第2-4面の少なくとも1面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記23記載の結像光学系。

【0212】〔26〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記24又は25記載の結像光学系。

【0213】〔27〕 前記第2プリズムの光学作用面が、入射面である第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面と、射出面である第2-4面との少なくとも4つの光学作用面から構成され、前記第2-1面と前記第2-2面とが媒質を挟んで対向配置されていると共に、前記第2-3面と前記第2-4面とが媒質を挟んで対向配置され、前記第2-1面と前記第2-2面とを結ぶ光路と前記第2-3面と前記第2-4面とを結ぶ光路とが交差するように構成されていることを特徴とする上記14記載の結像光学系。

【0214】〔28〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記27記載の結像光学系。

【0215】〔29〕 前記第2-1面と前記第2-4面の少なくとも1面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記27記載の結像光学系。

【0216】〔30〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記28又は29記載の結像光学系。

【0217】〔31〕 前記中間像面が、前記第1プリズムの第1-1面の反射作用面と前記第2プリズムの第2-2面との間に形成されるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムとが構成されていることを特徴とする上記1から30の何れか1項記載の結像光学系。

【0218】〔32〕 前記中間像面が、前記第1プリズムの第1-4面と前記第2プリズムの第2-2面との間に形成されるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムとが構成されていることを特徴とする上記31記載の結像光学系。

【0219】〔33〕 前記結像光学系の入射瞳面と結像面とが略平面となると共に、前記入射瞳面と前記結像面とが略平面となると共に、 $100 \leq EP/Px \leq 1000$ の条件式を満足することを特徴とする上記1から35の何れか1項記載の結像光学系。

【0223】〔37〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、 $-1 \leq Px1/Px \leq 2$ ,  
 $-1 \leq Py1/Py \leq 2$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記1から36の何れか1項記載の結像光学系。

【0224】〔38〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、 $0.2 \leq Px3/Px \leq 3$ ,  
 $0.2 \leq Py3/Py \leq 3$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記1から37の何れか1項記載の結像光学系。

【0225】〔39〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、 $-5 \leq Px4/Px \leq 1$ ,  
 $-5 \leq Py4/Py \leq 1$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記1から38の何れか1項記載の結像光学系。

【0226】〔40〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、 $-3 \leq Px5/Px \leq 3$ ,  
 $-3 \leq Py5/Py \leq 3$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記1から39の何れか1項記載の結像光学系。

【0227】〔41〕 上記1から40の何れか1項記載の結像光学系をファインダー対物光学系として配置し、さらに、前記ファインダー対物光学系によって形成された物体像を正立正像させる像正立光学系と、接眼光学系とから構成されていることを特徴とするファインダ

面との間に形成される中間像面が非平面な湾曲した形状となるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムの偏心収差を補正する光学作用面の面形状が構成されていることを特徴とする上記1から32の何れか1項記載の結像光学系。

【0220】〔34〕 前記結像光学系の入射瞳が、前記第1プリズムよりも物体側に形成されるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムとが構成されていることを特徴とする上記1から33の何れか1項記載の結像光学系。

【0221】〔35〕 前記入射瞳上に絞りを配置したことを特徴とする上記34記載の結像光学系。

【0222】〔36〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、入射瞳から第1プリズムの入射面までの距離をEPとすると、

$$\dots (1)$$

面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムのX方向のパワーをPx1、Y方向のパワーをPy1とすると、

$$\dots (2)$$

面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムの第1-2面の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーをPx3、Y方向のパワーをPy3とすると、

$$\dots (3)$$

パワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムの第1-1面の反射作用時の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーをPx4、Y方向のパワーをPy4とすると、

$$\dots (4)$$

面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムの第1-3面の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーをPx5、Y方向のパワーをPy5とすると、

$$\dots (5)$$

一光学系。

【0228】〔42〕 上記41記載のファインダー光学系と、前記ファインダー光学系と併設された撮影用対物光学系とを備えて構成されていることを特徴とするカメラ装置。

【0229】〔43〕 上記1から40の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される

像面上に配置された撮像素子とを備えて構成されていることを特徴とする撮像光学系。

【0230】〔44〕 上記1から40の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、前記撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、前記記録媒体又は前記撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子とを備えて構成されていることを特徴とする電子カメラ装置。

【0231】〔45〕 上記1から40の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源及び前記照明光源からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材を有する照明系とを備えて構成されていることを特徴とする内視鏡装置。

【0232】〔46〕 観察像を観察するために射出瞳を形成する全体として正の屈折力を有する観察光学系において、前記観察光学系が屈折率( $n$ )が1.3よりも大きい( $n > 1.3$ )媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、前記第1プリズムは前記第2プリズムよりも前記射出瞳側に配置され、前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面を有し、その第1面を第1-1面、第2面を第1-2面、第3面を第1-3面、第4面を第1-4面とすると、前記第1-4面が観察像からの光束を前記第2プリズムを介してプリズム内に入射させ、前記第1-3面が前記第1-4面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-1面が前記第1-3面で反射された光束をプリズム内で反射すると共に第1-2面で反射された光束をプリズム外へ射出し、前記第1-2面が前記第1-1面で反射された光束を光束をプリズム内で反射するように構成されると共に、前記第1-1面と前記第1-2面の少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、前記第2プリズムが、曲面形状を有し前記媒質内で光束を内部反射させる偏心配置された反射面と、前記観察像からの光束をプリズム内に入射させる入射面と、光束をプリズム外に射出させる射出面とを少なくとも有すると共に、前記反射面が光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、前記第2プリズムの入射面と前記第1プリズムの射出面(第1-1面)との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とする観察光学系。

【0233】〔47〕 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記46記載の観察光学系。

【0234】〔48〕 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の少なくとも一方の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記46記載の観察光学系。

【0235】〔49〕 前記第1プリズムの第1-1面と第1-2面の両方の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記47記載の観察光学系。

【0236】〔50〕 前記第1プリズムの第1-1面の面対称自由曲面の唯一の対称面と、前記第1プリズムの第1-2面の面対称自由曲面の唯一の対称面とが、同一面内に形成されるように前記第1プリズムが構成されていることを特徴とする上記49記載の観察光学系。

【0237】〔51〕 前記第1プリズムの第1-3面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記46から50の何れか1項記載の観察光学系。

【0238】〔52〕 前記第1プリズムの第1-3面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記51記載の観察光学系。

【0239】〔53〕 前記第1プリズムの第1-3面の面対称自由曲面の唯一の対称面が、前記第1プリズム内部の反射によって形成される軸上主光線の折り返し光路を結ぶ面と一致するように構成されていることを特徴とする上記52記載の観察光学系。

【0240】〔54〕 前記第1プリズムの第1-4面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記46から53の何れか1項記載の観察光学系。

【0241】〔55〕 前記第1プリズムの第1-4面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記54記載の観察光学系。

【0242】〔56〕 前記第1プリズムの第1-4面の面対称自由曲面の唯一の対称面が、前記第1プリズム内部の反射によって形成される軸上主光線の折り返し光路を結ぶ面と一致するように構成されていることを特徴とする上記55記載の観察光学系。

【0243】〔57〕 前記第2プリズム内の配置された反射面の回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記46から56の何れか1項記載の観察光学系。

【0244】〔58〕 前記第1プリズムと前記第2プリズムとが、少なくとも1面ずつ唯一の対称面が同一平面上に配置されるように構成された面対称自由曲面を備

えていることを特徴とする上記57記載の観察光学系。

【0245】〔59〕 前記第2プリズムが、光束にパワーを与える曲面形状の反射面を2面以上有するように構成されていることを特徴とする上記46から58の何れか1項記載の観察光学系。

【0246】〔60〕 前記第2プリズムの光学作用面が、射出面と反射面とを兼用した第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、入射面である第2-3面との少なくとも3つの光学作用面から構成されていることを特徴とする上記59記載の観察光学系。

【0247】〔61〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記60記載の観察光学系。

【0248】〔62〕 前記第2-1面と前記第2-2面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記60記載の観察光学系。

【0249】〔63〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記51又は52記載の観察光学系。

【0250】〔64〕 前記第2プリズムの光学作用面が、射出面である第2-1面と、入射面と反射面とを兼用した第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面との少なくとも3つの光学作用面から構成されていることを特徴とする上記14記載の観察光学系。

【0251】〔65〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記64記載の観察光学系。

【0252】〔66〕 前記第2-1面と前記第2-2面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記64記載の観察光学系。

【0253】〔67〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記65又は66記載の観察光学系。

【0254】〔68〕 前記第2プリズムの光学作用面が、射出面である第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面と、入射面である第2-4面との少なくとも4つの光学作用面から構成されていると共に、前記プリ

ズム内でZ字型の光路を形成するように構成されていることを特徴とする上記59記載の観察光学系。

【0255】〔69〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記68記載の観察光学系。

【0256】〔70〕 前記第2-1面と前記第2-4面の少なくとも1面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記68記載の観察光学系。

【0257】〔71〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記69又は70記載の観察光学系。

【0258】〔72〕 前記第2プリズムの光学作用面が、射出面である第2-1面と、プリズム内部で光束を反射する第2-2面と、プリズム内部で光束を反射する第2-3面と、入射面である第2-4面との少なくとも4つの光学作用面から構成され、前記第2-1面と前記第2-2面とが媒質を挟んで対向配置されていると共に、前記第2-3面と前記第2-4面とが媒質を挟んで対向配置され、前記第2-1面と前記第2-2面とを結ぶ光路と前記第2-3面と前記第2-4面とを結ぶ光路とが交差するように構成されていることを特徴とする上記59記載の観察光学系。

【0259】〔73〕 前記第2-2面と前記第2-3面とが共に、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記72記載の観察光学系。

【0260】〔74〕 前記第2-1面と前記第2-4面の少なくとも1面が、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする上記72記載の観察光学系。

【0261】〔75〕 前記第2プリズムの回転非対称な面形状が、何れも唯一の対称面を1面のみに有した面対称自由曲面形状にて構成され、かつ、前記各面の唯一の対称面が同一面上に形成されるように構成されていることを特徴とする上記73又は74記載の観察光学系。

【0262】〔76〕 前記中間像面が、前記第1プリズムの第1-1面の反射作用面と前記第2プリズムの第2-2面との間に形成されるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムとが構成されていることを特徴とする上記46から75の何れか1項記載の観察光学系。

【0263】〔77〕 前記中間像面が、前記第1プリズムの第1-4面と前記第2プリズムの第2-2面との

間に形成されるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムとが構成されていることを特徴とする上記76記載の観察光学系。

【0264】〔78〕 前記観察光学系の射出瞳面と観察像面とが略平面となると共に、前記射出瞳面と前記結像面との間に形成される中間像面が非平面な湾曲した形状となるように、前記第1プリズムと前記第2プリズムの偏心収差を補正する光学作用面の面形状が構成されていることを特徴とする上記46から77の何れか1項記載の観察光学系。

【0265】〔79〕 前記観察光学系は、前記第1プリズムの第1-1面をカバーするためのカバー部材が前記第1-1面と射出瞳との間に設けられていることを特徴とする上記46から78の何れか1項記載の観察光学系。

$$100 \leq EP/Px \leq 1000$$

の条件式を満足することを特徴とする上記46から82の何れか1項記載の観察光学系。

【0270】〔84〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z

$$-1 \leq Px1/Px \leq 2,$$

$$-1 \leq Py1/Py \leq 2$$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記46から83の何れか1項記載の観察光学系。

【0271】〔85〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z

$$0.2 \leq Pxs3/Px \leq 3,$$

$$0.2 \leq Pys3/Py \leq 3$$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記46から84の何れか1項記載の観察光学系。

【0272】〔86〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向の

$$-5 \leq Pxs4/Px \leq 1,$$

$$-5 \leq Pys4/Py \leq 1$$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記46から85の何れか1項記載の観察光学系。

【0273】〔87〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z

$$-3 \leq Pxs5/Px \leq 3,$$

$$-3 \leq Pys5/Py \leq 3$$

の条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする上記46から86の何れか1項記載の観察光学系。

【0274】〔88〕 観察像を形成する電子画像表示素子と、前記画像表示素子の表示面上の像を観察する上記46から87の何れか1項記載の観察光学系とを配置して構成したことを特徴とする電子ファインダー光学系。

【0275】〔89〕 結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、前

【0266】〔80〕 前記カバー部材が、光束にパワーを与えない平行平板形状にて構成されていることを特徴とする上記79記載の観察光学系。

【0267】〔81〕 前記カバー部材が、光束に収斂作用を与える正レンズ形状にて構成されていることを特徴とする上記79記載の観察光学系。

【0268】〔82〕 前記カバー部材が、光束に発散作用を与える負レンズ形状にて構成されていることを特徴とする上記79記載の観察光学系。

【0269】〔83〕 全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、射出瞳から第1プリズムの射出面までの距離をEPとすると、

$$\dots (1)$$

面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムのX方向のパワーをPx1、Y方向のパワーをPy1とすると、

$$\dots (2)$$

面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムの第1-2面の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーをPxs3、Y方向のパワーをPys3とすると、

$$\dots (3)$$

パワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムの第1-1面の反射作用時の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーをPxs4、Y方向のパワーをPys4とすると、

$$\dots (4)$$

面と直交する方向をX方向とすると、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPy、第1プリズムの第1-3面の軸上主光線が当たる位置でのX方向のパワーをPxs5、Y方向のパワーをPys5とすると、

$$\dots (5)$$

記撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、前記記録媒体又は前記撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子と、前記画像表示素子の表示面上の像を観察する上記46から87の何れか1項記載の観察光学系とを備えて構成されたことを特徴とする電子カメラ装置。

【0276】〔90〕 結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源と、前記照明光源

からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材とを有する照明系とを備え、前記観察系の像伝達部材によって構成された像面を観察するために配置された上記46から87の何れか1項記載の観察光学系とを備えて構成されたことを特徴とする内視鏡装置。

【0277】〔91〕 観察像を画面上に形成する画像表示素子と、前記観察像を観察する接眼光学系として配置した上記46から87の何れか1項記載の観察光学系とを備えた本体部と、前記本体部を観察者顔面に保持するために観察者側頭部に装着されるように構成された支持部材とを備えたことを特徴とする頭部装着型画像表示装置。

【0278】〔92〕 前記画像表示素子と前記接眼光学系とがそれぞれ左右1組ずつ並設され両眼視用に構成されたことを特徴とする上記91記載の頭部装着型画像表示装置。

【0279】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、2つの偏心プリズムにより偏心収差をお互いに補正することにより、観察画角が広く焦点距離の短い中間像1回結像タイプの観察光学系及び結像光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図2】本発明の実施例2の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図3】本発明の実施例3の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図4】本発明の実施例4の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図5】本発明の実施例5の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図6】本発明の実施例6の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図7】本発明の実施例7の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図8】本発明の実施例8の結像光学系及び観察光学系の断面図である。

【図9】実施例7の横収差図である。

【図10】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プリズムに適用可能な偏心プリズムの1例を示す図である。

【図11】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プリズムに適用可能な偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図12】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プリズムに適用可能な偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図13】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プ

リズムに適用可能な偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図14】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プリズムに適用可能な偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図15】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プリズムに適用可能な偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図16】本発明の結像光学系及び観察光学系の第1プリズムに適用可能な偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図17】本発明の観察光学系を用いる頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を示す図である。

【図18】図17の断面図である。

【図19】本発明の観察光学系を用いる頭部装着型で片眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を示す図である。

【図20】本発明の結像光学系及び観察光学系を適用した電子カメラの外観を示す前方斜視図である。

【図21】図20の電子カメラの後方斜視図である。

【図22】図20の電子カメラの1つの構成を示す断面図である。

【図23】本発明の結像光学系及び観察光学系を適用した別の電子カメラの概念図である。

【図24】本発明の結像光学系及び観察光学系を適用した電子内視鏡の概念図である。

【図25】本発明による結像光学系を撮像素子前方に配置するときの望ましい構成を示す図である。

【図26】偏心した反射面により発生する像面湾曲を説明するための概念図である。

【図27】偏心した反射面により発生する非点収差を説明するための概念図である。

【図28】偏心した反射面により発生するコマ収差を説明するための概念図である。

【図29】偏心光学系及び光学面のパワーの定義を説明するための図である。

【符号の説明】

1…軸上主光線

2…絞り

3…像面

4…中間像面

10…第1プリズム

11…第1面

12…第2面

13…第3面

14…第4面

20…第2プリズム

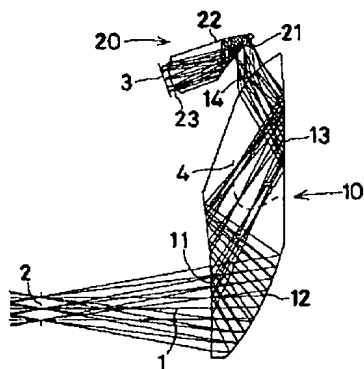
21…第1面

22…第2面

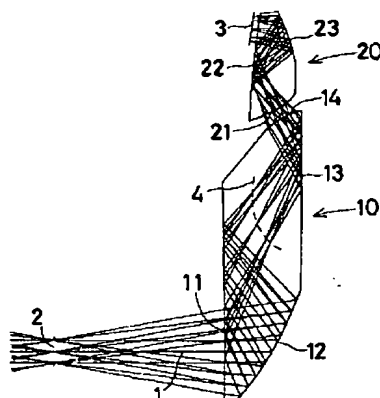
23…第3面  
24…第4面  
31…瞳  
32…第1面  
33…第2面  
34…第3面  
35…第4面  
36…像面  
40…電子カメラ  
41…撮影光学系  
42…撮影用光路  
43…ファインダー光学系  
44…ファインダー用光路  
45…シャッター  
46…フラッシュ  
47…液晶表示モニター  
48…撮影用対物光学系  
49…CCD  
50…撮像面  
51…フィルター  
52…処理手段  
53…ファインダー用対物光学系  
54…カバーレンズ  
55…ポロプリズム  
56<sub>1</sub>～56<sub>4</sub>…第1～4反射面  
57…正レンズ群  
59…接眼光学系  
60…液晶表示素子(LCD)  
61…記録手段  
65…カバー部材  
71…電子内視鏡  
72…光源装置  
73…ビデオプロセッサ  
74…モニター

75…VTRデッキ  
76…ビデオディスク  
77…ビデオプリンタ  
78…頭部装着型画像表示装置(HMD)  
79…挿入部  
80…先端部  
81…接眼部  
82…観察用対物光学系  
83…フィルター  
84…CCD  
85…カバー部材  
86…液晶表示素子(LCD)  
87…接眼光学系  
88…ライトガイドファイバー束  
89…照明用対物光学系  
90…結像面  
91…カバー部材  
92…バックライト  
93…画像信号導伝手段  
100…接眼光学系  
101…画像表示素子  
102…画像表示装置(表示装置本体)  
103…側頭フレーム  
104…スピーカ  
105…映像音声伝達コード  
106…再生装置  
107…調節部  
108…前フレーム  
M…凹面鏡  
E…観察者眼球  
S…偏心光学系  
P…偏心プリズム  
C…撮像面  
D…面对称自由曲面の対称面

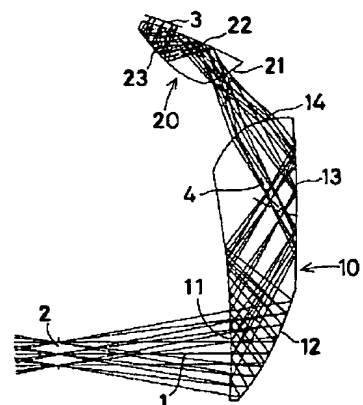
【図2】



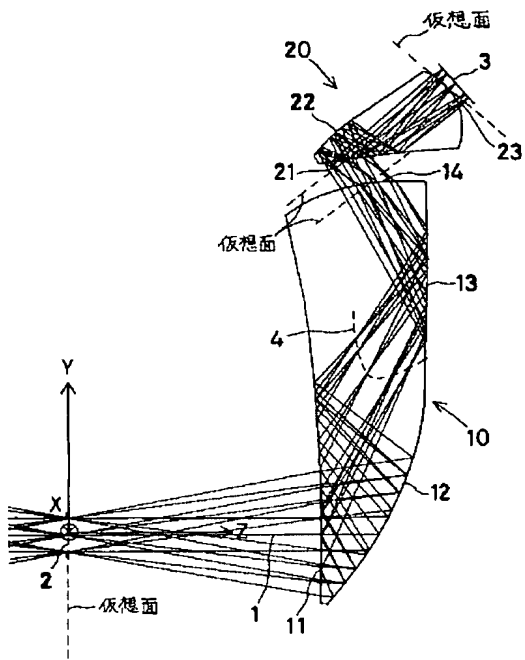
【図3】



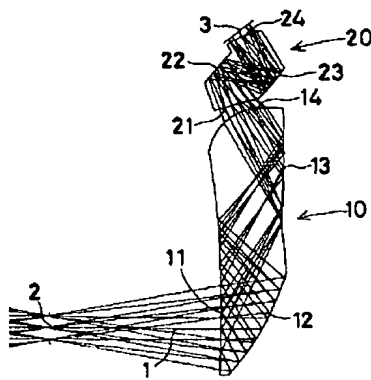
【図4】



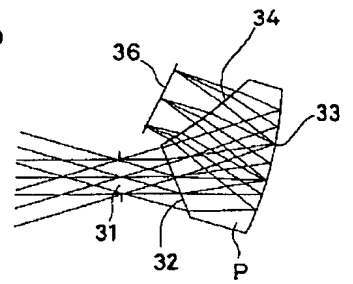
【図1】



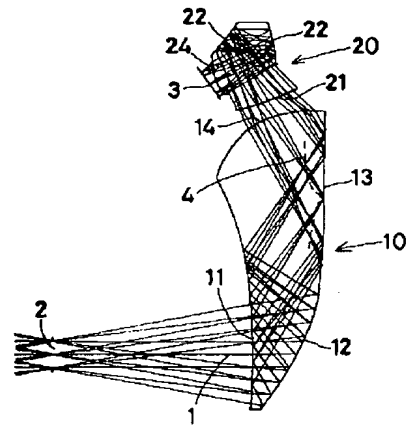
【図5】



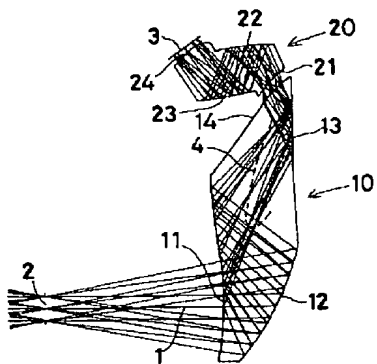
【図10】



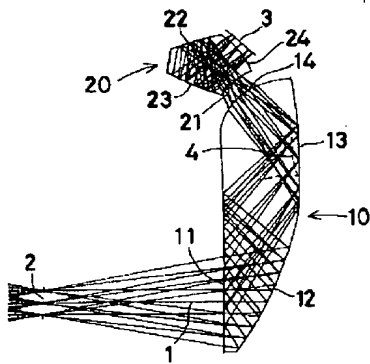
【図8】



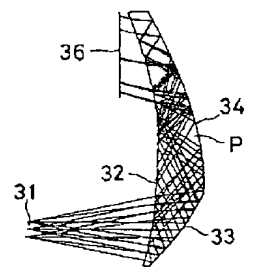
【図6】



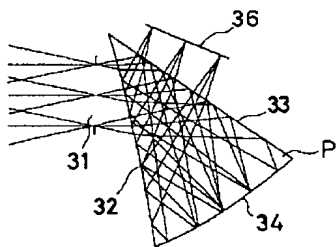
【図7】



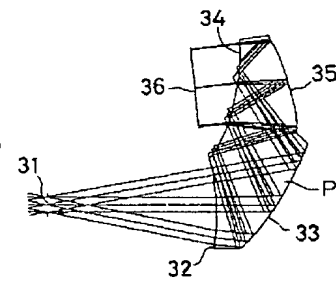
【図16】



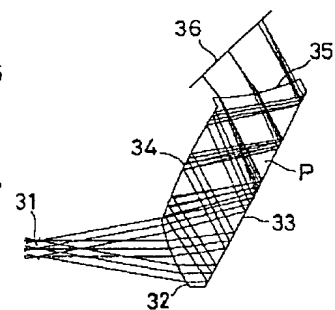
【図11】



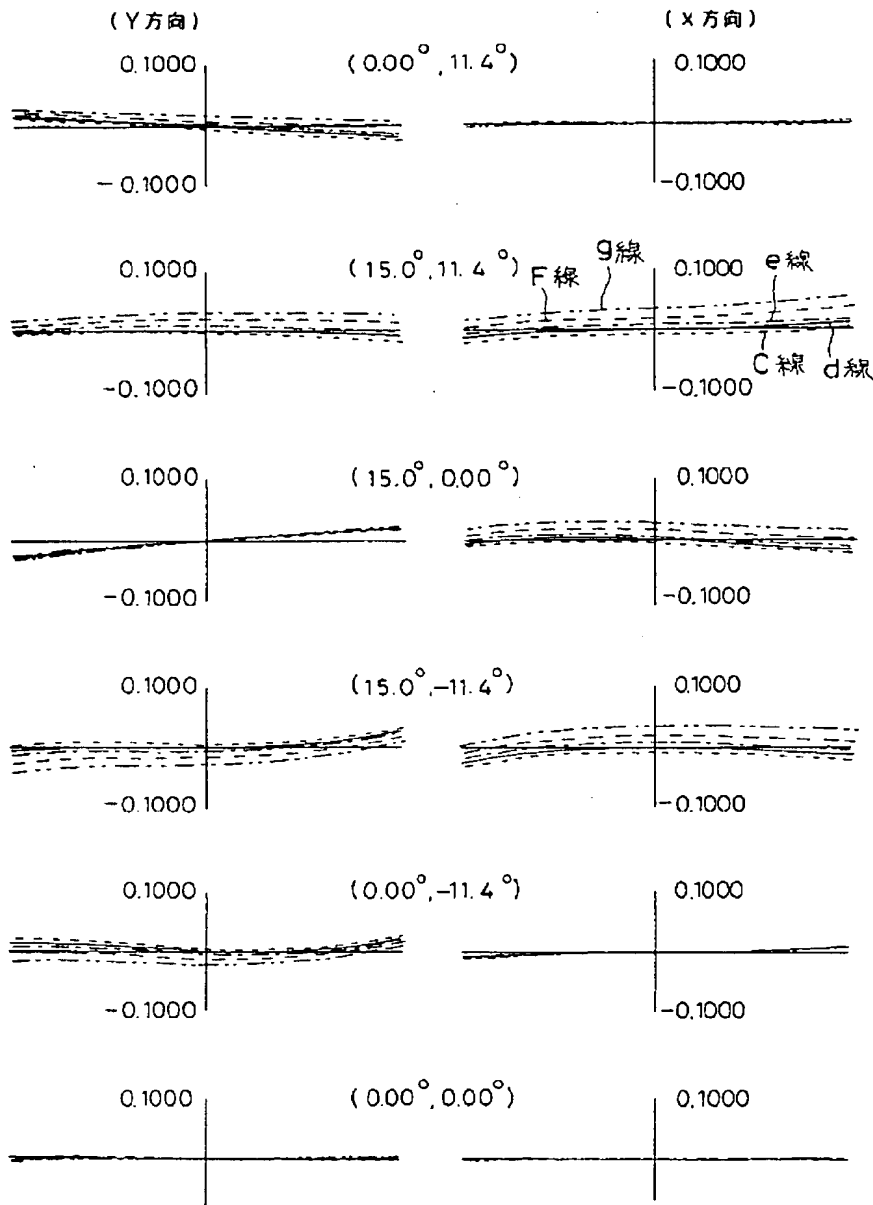
【図12】



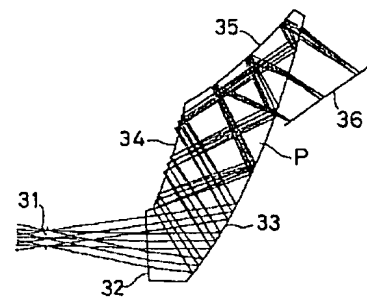
【図13】



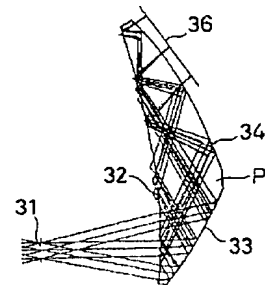
【図9】



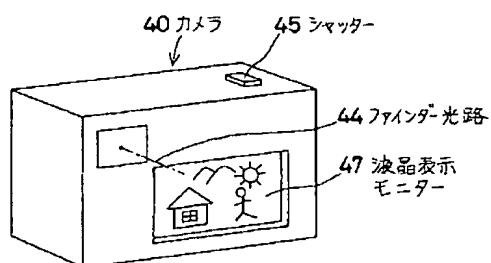
【図14】



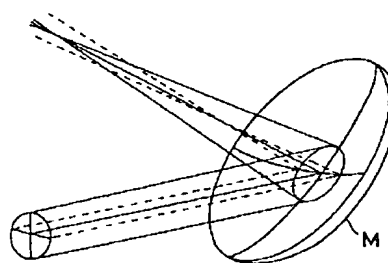
【図15】



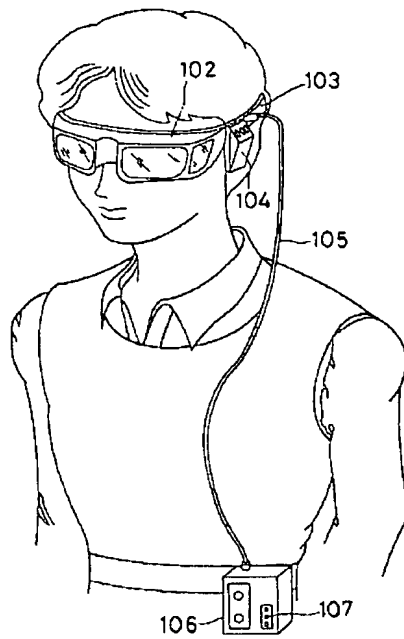
【図21】



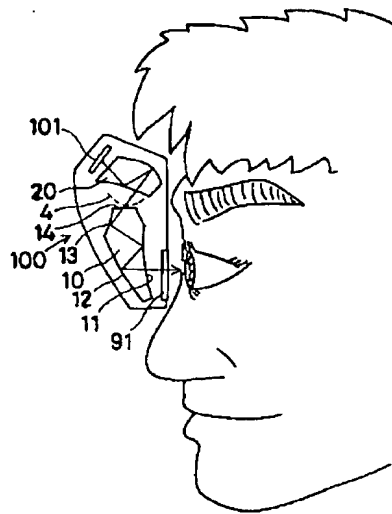
【図27】



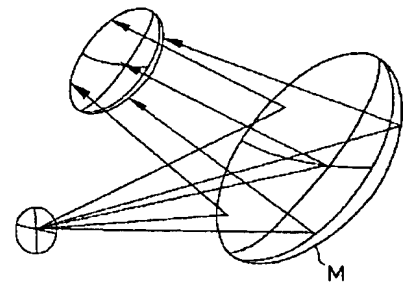
【図17】



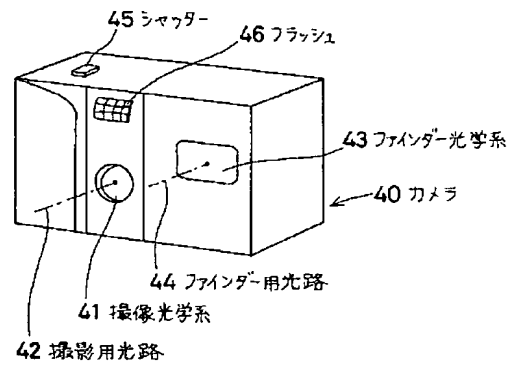
【図18】



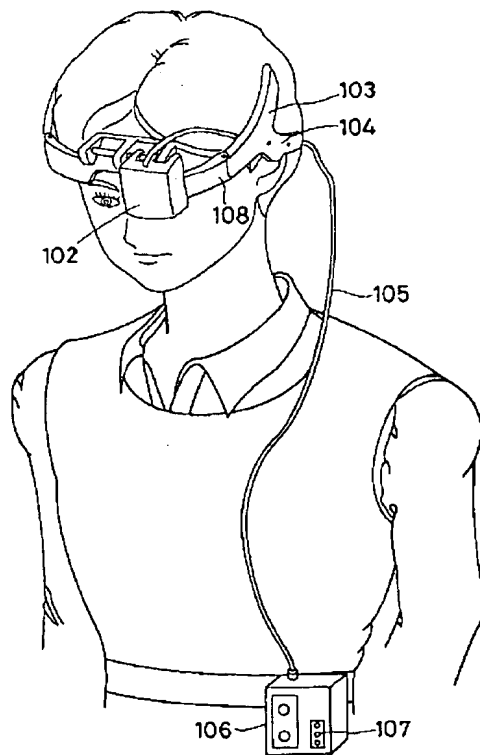
【図26】



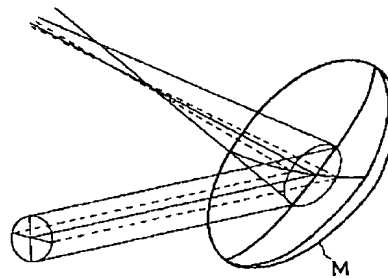
【図20】



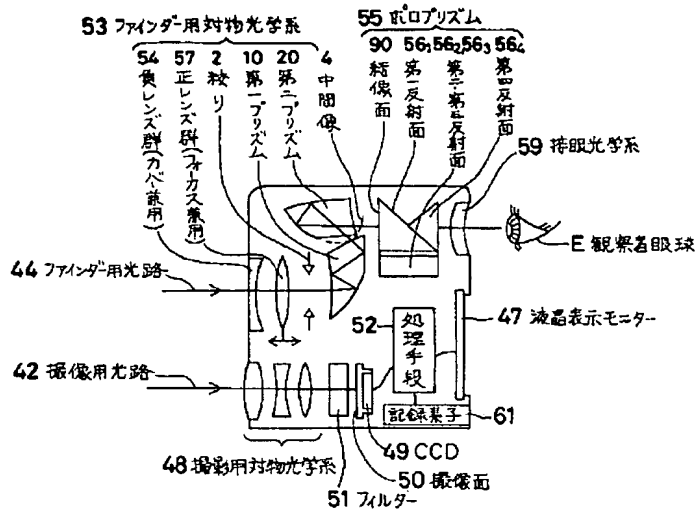
【図19】



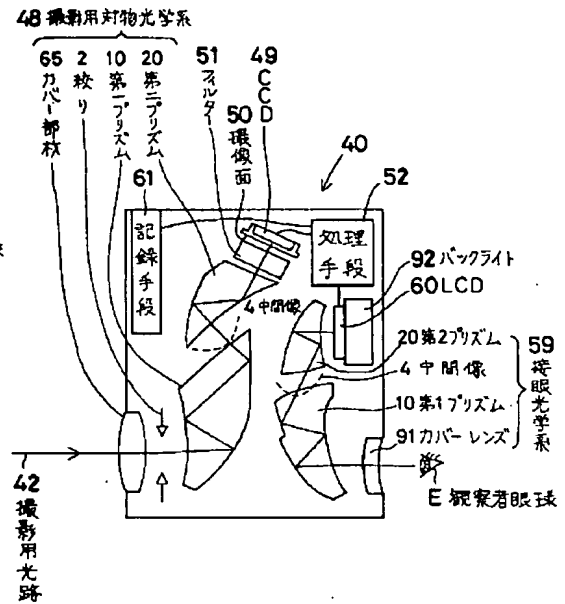
【図28】



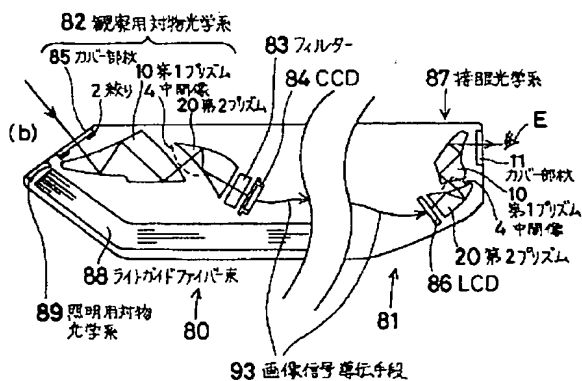
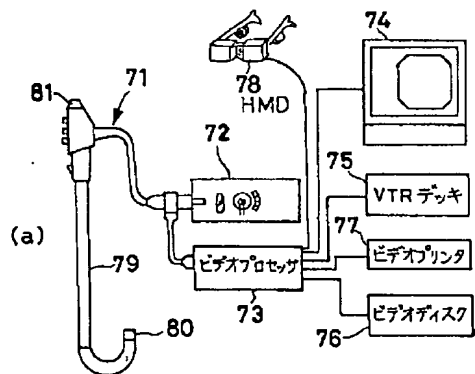
【図22】



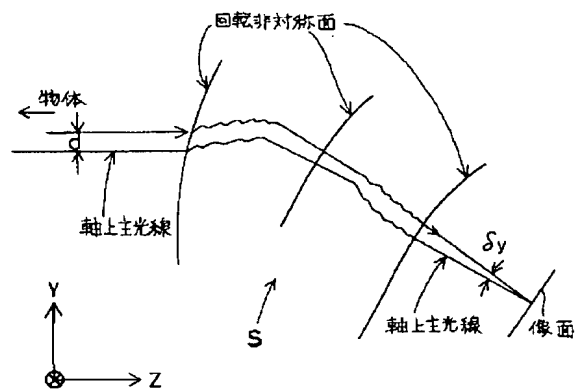
【図23】



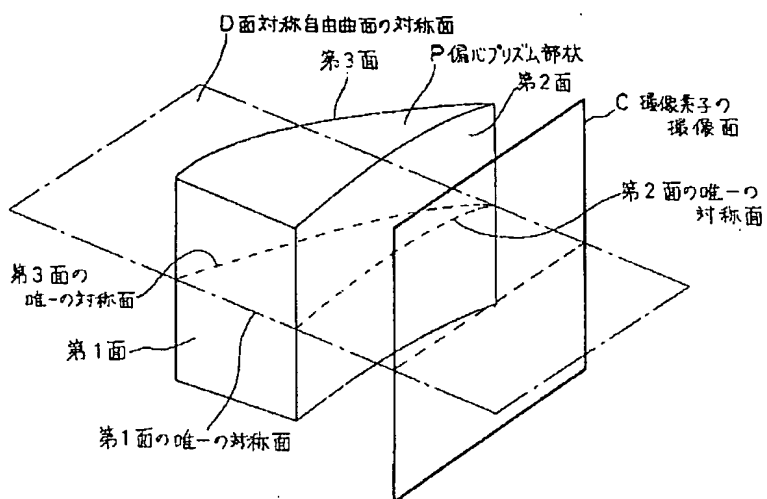
【図24】



【図29】



【図25】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H018 AA27  
2H087 KA00 KA02 KA03 KA06 KA08  
KA09 KA10 KA14 KA18 LA12  
RA34 RA41 TA01 TA02 TA06